

**DELPHION**

No active trail

Select CR

Help

RESEARCH

PRODUCTS

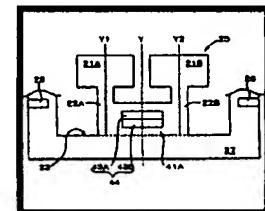
INSIDE DELPHION

Log Out Work Files Saved Searches

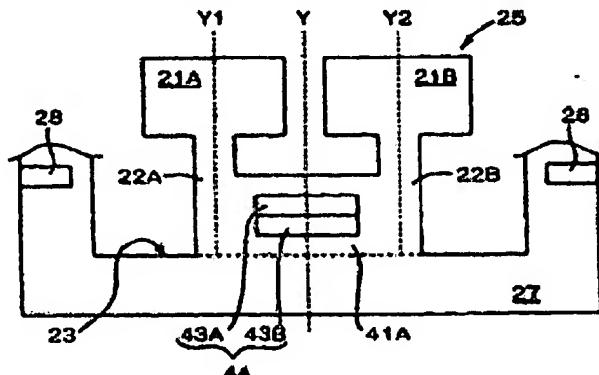
My Account

Search: Quick/Number Boolean Advanced Derwent

Email it

**Derwent Record**View: [Expand Details](#) Go to: [Delphion Integrated View](#)Tools: Add to Work File: [Create new Work File](#)? Derwent Title: **Double headed mass sensor for e.g. microorganisms**? Original Title:  [WO9934176A1: DOUBLE-HEADED MASS SENSOR AND MASS DETECTION METHOD](#)? Assignee: **NGK INSULATORS LTD** Standard company  
Other publications from [NGK INSULATORS LTD \(NIGA\)...](#)? Inventor: **KIMURA K; OHNISHI T; TAKEUCHI Y;**? Accession/Update: **1999-430257 / 200265**? IPC Code: **G01G 3/13 ; G01G 9/00 ; G01N 11/00 ; G01G 3/16 ; G01N 5/02 ;**? Derwent Classes: **S02; S03;**? Manual Codes: **S02-D01B(Weighing apparatus using elastic materials) , S03-E12(Analysing by weighing; by measuring pressure/volume of gas)**? Derwent Abstract: ([WO9934176A](#)) **Novelty** - Double headed mass sensor (25) comprises a resonance section comprising diaphragms (21A,21B), coupling plates (22A, 22B), 1st detection plate (41A) and main element (44) bonded to a sensor substrate (27).**Detailed Description** - Variation in the mass of each diaphragm is measured by measuring variation in the resonant frequency at the resonance section incident to variation in the mass of each diaphragm.**Use** - Used for measuring micromass (nanograms) of microorganisms e.g. bacteria or virus, chemical substance and deposition film.**Advantage** - Measurement can be carried out easily and accurately.

? Images:

**Description of Drawing(s) - DETAILED Description of Drawing(s)** - The figure shows a diagram of the double headed mass sensor.Diaphragms 21A,21B, Coupling plates 22A,22B, Sensor 25, Sensor substrate 27, 1st detection plate 41, Main element 44, **Description of Drawing(s) - DETAILED****Description of Drawing(s)** - The figure shows a diagram of the double headed mass sensor., Diaphragms 21A,21B, Coupling plates 22A,22B, Sensor 25, Sensor substrate 27, 1st detection plate 41, Main element 44, **Description of Drawing(s) - DETAILED****Description of Drawing(s) - The figure shows a diagram of the double headed mass sensor., Diaphragms 21A,21B, Coupling plates 22A,22B, Sensor 25, Sensor substrate**

27, 1st detection plate 41, Main element 44, Dwg.1/25

Family:	PDF Patent	Pub. Date	Derwent	Update	Pages	Language	IPC Code
<input checked="" type="checkbox"/>	<u>WO9934176A1</u> *	1999-07-08	199936	74	Japanese	G01G 3/13	
Des. States: (N) CN JP US (R) AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE							
Local appls.: <u>WO1998JP0003970</u> Filed:1998-09-04 (98WO-JP03970)							
<input checked="" type="checkbox"/>	<u>US20020134177A1</u> =	2002-09-26	200265	39	English	G01G 9/00	
Local appls.:							
<input checked="" type="checkbox"/>	<u>US6389877</u> =	2002-05-21	200239	36	English	G01N 11/00	
Local appls.: Based on <u>WO09934176</u> (WO 9934176) <u>US1999000367294</u> Filed:1999-08-10 (99US-0367294) <u>WO1998JP0003970</u> Filed:1998-09-04 (98WO-JP03970)							
JP11534750X = 2000-08-22 200045 English G01G 3/13							
Local appls.: Based on <u>WO09934176</u> (WO 9934176) <u>JP1999000534750</u> Filed:1998-09-04 (99JP-0534750) <u>WO1998JP0003970</u> Filed:1998-09-04 (98WO-JP03970)							
<input checked="" type="checkbox"/>	<u>CN1253621A</u> =	2000-05-17	200041		English	G01G 3/13	
Local appls.: <u>CN1998000804546</u> Filed:1998-09-04 (98CN-0804546)							
<input checked="" type="checkbox"/>	<u>EP0971214A1</u> =	2000-01-12	200008	44	English	G01G 3/00	
Des. States: (R) DE FR GB IT							
Local appls.: Based on <u>WO09934176</u> (WO 9934176) <u>WO1998JP0003970</u> Filed:1998-09-04 (98WO-JP03970) <u>EP1998000941715</u> Filed:1998-09-04 (98EP-0941715)							

INPADOC [Show legal status actions](#)  
Legal Status:

PCT

## 特許協力条約に基づいて公開された国際出願



(51) 国際特許分類6 G01G 3/13, 3/16, G01N 5/02		A1	(11) 国際公開番号 WO99/34176
			(43) 国際公開日 1999年7月8日 (08.07.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/03970	(22) 国際出願日 1998年9月4日 (04.09.98)	(30) 優先権データ 特願平9/361369 1997年12月26日 (26.12.97) JP	(74) 代理人 弁理士 渡邊一平 (WATANABE, Kazuhira) 〒111-0053 東京都台東区浅草橋3丁目20番18号 第8菊星タワービル3階 Tokyo, (JP)
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本碍子株式会社 (NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP] 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 Aichi, (JP)	(81) 指定国 CN, JP, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 武内幸久 (TAKEUCHI, Yukihisa) [JP/JP] 〒470-0204 愛知県西加茂郡三好町三好丘桜1丁目5番地4号 Aichi, (JP) 大西孝生 (OHNISHI, Takao) [JP/JP] 〒452-0015 愛知県西春日井郡西枇杷島町泉町40 サンコート西枇杷島2-401 Aichi, (JP) 木村浩二 (KIMURA, Koji) [JP/JP] 〒457-0022 愛知県名古屋市南区明円町331番地 グランドール明円401号 Aichi, (JP)	添付公開書類 国際調査報告書
(54) Title: DOUBLE-HEADED MASS SENSOR AND MASS DETECTION METHOD	(54) 発明の名称 双頭型質量センサおよびその質量検出方法	(57) Abstract A double-headed mass sensor (25) comprising a first detection plate (41A) provided, at least on one planar surface thereof, with a main element (44) and straddling across a first coupling plate (22A) bonded to a first diaphragm (21A) on the side face thereof and a second coupling plate (22B) bonded to a second diaphragm (21B) on the side face thereof, wherein a resonance section comprising the diaphragms (21A, 21B), the coupling plates (22A, 22B), the first detection plate (41A) and the main element (44) is bonded to a sensor substrate (27). Variation in the mass of each diaphragm (21A, 21B) is measured by measuring variation in the resonance frequency at the resonance section incident to variation in the mass of each diaphragm (21A, 21B). Micromass on the nanogram order of a microorganism, e.g. a bacteria or a virus, a chemical substance and a deposition film can be measured easily and correctly with high accuracy.	

(57)要約

第一振動板（21A）と互いの側面において接合された第一連結板（22A）と、第二振動板（21B）と互いの側面において接合された第二連結板（22B）との間に、少なくとも一方の平板面上に主素子（44）が配設された第一検出板（41A）が跨設されて、各振動板（21A），（21B）と各連結板（22A），（22B）と第一検出板（41A）および主素子（44）からなる共振部が、センサ基板（27）に接合されてなる双頭型質量センサ（25）である。各振動板（21A），（21B）の質量変化にともなう共振部の共振周波数の変化を測定することにより、各振動板（21A），（21B）の質量変化を測定する。細菌、ウイルス等の微生物や化学物質、蒸着膜厚等のナノグラムオーダーの微小質量の測定を、簡単に、正確かつ高精度に行うことができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SG シンガポール
AL アルバニア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SI スロヴェニア
AM アルメニア	FR フランス	LR リベリア	SK スロ伐キア
AT オーストリア	GA ガボン	LS レント	SL シエラ・レオネ
AU オーストラリア	GB 英国	LT リトアニア	SN セネガル
AZ アゼルバイジャン	CD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SZ スワジラント
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE グルジア	LV ラトヴィア	TD チャード
BB バルバドス	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴー
BE ベルギー	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TI タジキスタン
BF ブルキナ・ファソ	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BG ブルガリア	GW ギニア・ビサオ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BJ ベナン	GR ギリシャ	共和国	TT トリニダード・トバゴ
BR ブラジル	HR クロアチア	ML マリ	UA ウクライナ
BY ベラルーシ	HU ハンガリー	MN モンゴル	UG ウガンダ
CA カナダ	ID インドネシア	MR モーリタニア	US 米国
CF 中央アフリカ	IE アイルランド	MW モラウイ	UZ ウズベキスタン
CG コンゴ	IL イスラエル	MX メキシコ	VN ヴィエトナム
CH スイス	IN インド	NE ニジエール	YU ユーロースラビア
CI コートジボアール	IS アイスランド	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CM カメルーン	IT イタリア	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CN 中国	JP 日本	NZ ニュージーランド	
CU キューバ	KE ケニア	PL ポーランド	
CY キプロス	KG ケルギスタン	PT ポルトガル	
CZ チェコ	KP 北朝鮮	RO ルーマニア	
DE ドイツ	KR 韓国	RU ロシア	
DK デンマーク	KZ カザフスタン	SD スーダン	
EE エストニア	LC セントルシア	SE スウェーデン	

## 明細書

## 双頭型質量センサおよび質量検出方法

## 技術分野

本発明は、主にナノグラム ( $10^{-9}$  g) オーダーの微小質量の測定に使用される質量センサであって、細菌、ウィルス、原虫等の微生物を検出するための質量センサ（免疫センサ）や、水分や有毒物質あるいは味覚成分等の特定化学物質の検出に使用される質量センサ（水分計、ガスセンサ、味覚センサ）として用いられる双頭型質量センサおよび質量検出方法に関する。

なお、本発明においては、使用する2枚の振動板があたかも「二枚の頭（ヘッド）」のように見え、そして機能することから、本発明の質量センサを双頭型質量センサと命名した。

また、本発明の双頭型質量センサにおいては、振動板等に特定の物質が付着したときの共振周波数の変化を測定し、振動板等の質量変化を検出することができるが、振動板等自体の質量変化に伴う共振周波数の変化も、当然測定が可能であるため、蒸着膜厚計や露点計として用いることも可能である。

さらに、振動板の質量を変化させることなくとも、共振周波数の変化を起こさせる環境に置く、すなわち、真密度や粘性、温度等の異なる気体や液体等の媒体環境下に置くことによって、真密度計や粘性計、温度センサとして用いることもできる。

このように、本発明の双頭型質量センサは、その実施の形態により、種々の用途があるが、振動板および振動板を含む共振部の共振周波数の変化を測定するという基本的な測定原理は同じものである。

以下、本発明の双頭型質量センサについて、主に免疫センサとして使用する場合を中心に説明する。

## 背景技術

近年、病気と呼ばれるもののうち、細菌やウィルス、原虫といった微生物に起

因する病気については、まず、これらの病原体を見つけ出し、それがいかなる種類のものかを明らかにし、次にどのような薬剤に感受性があるかを決定する微生物検査が、病気の治療に際して必要不可欠となっている。

ここで、現在では病状からおおよその原因、病原体の種類を推測することが可能であるため、微生物検査の第一段階では、病気の種類によって種々の検体が選ばれ、得られた検体中に存在する病原体を形態学的に、あるいは検体中にある病原体の抗原あるいは特異代謝産物（毒素や酵素等）を免疫化学的に、確認している。この過程は、細菌検査で行われている塗抹、染色、鏡検といった作業であり、最近は、この段階で蛍光抗体染色や酵素抗体染色等により、即時同定が可能となってきた。

また、ウィルスの検出に用いられているウィルス血清検査法は、患者の血清中に出現する特異免疫抗体を証明する方法であり、たとえば、試験血液へ補体を加えることによって、補体がその血液中の抗原もしくは抗体と反応して抗原もしくは抗体の細胞膜へ付着するか、あるいは細胞膜を破壊することにより抗体もしくは抗原の存在を決定する補体結合反応が利用される。

上述した微生物等が原因となっている病気の治療においては、これらの微生物検査により、早期に病原体を発見して、適当な処置を施すことができ、病状が悪化することなく病人を回復に導くことが可能となる。

しかしながら、上述した塗抹、染色、鏡検等の方法では、微生物の量により検出が困難な場合が多くあり、必要に応じて検体を寒天培地等で培養するといった時間を要する処理を行う必要がある。また、ウィルス血清検査法においては、原則として、急性期と恢復期の両者について測定し、その抗体量の動きから判定する必要があり、早期診断という観点から時間的な問題がある。

そこで、上述した補体結合反応にみられるように、被検出体たる特定の微生物とのみ反応して被検出体を捕捉する捕捉物質と被検出体が反応した場合には、非常に小さいが被検出体の質量の分だけ捕捉物質の質量が増加することに着目すると、この質量変化を測定することで病原体の検出が可能と考えられる。この質量増加は、特定のガス物質や臭い成分等の化学物質とその捕捉物質との関係においても同様であり、さらに、質量変化のない基板自体を捕捉物質と見立てて、その

基板に特定物質が析出、付加等した場合にもあてはまる。反対に、捕捉物質等に捕捉されていた被検出体が脱離するような反応が起こった場合には、捕捉物質等の質量が微小に減少することとなる。

このような微小質量の変化を検出する方法として、たとえば、米国特許No. 4 7 8 9 8 0 4には、図22に示されるように、水晶振動子81の対向する面に電極82・83を形成し、この電極82・83に何らかの物質が外部から付着したときの電極面の面方向の水晶振動子81の厚みすべり振動の共振周波数の変化を利用して、その質量変化を検出する質量センサ80が開示されている。そして、このような質量センサ80は、基本的に、水晶振動子81の質量負荷の変化に基づく共振周波数の変化を測定するものであるため、たとえば、蒸着膜の膜厚や膜成長を計測するための蒸着膜厚計あるいは水分計等としても使用が可能と考えられる。

しかし、このような水晶振動子81を用いた場合には、外部からの物質の付着部と共振周波数の検出部とは同じ部位となるため、たとえば、検体の温度あるいは温度変化により水晶振動子81自体の圧電特性が変化して共振周波数が一定せず、また、検体が導電性溶液の場合には質量センサ80をそのまま検体に浸漬すると、電極82・83間の短絡を引き起こすために常に、樹脂コーティング等の絶縁処理を施さなければならないといった不具合が生ずる。

さらに、特許協力条約による国際特許出願JP97/01094には種々の振動ジャイロ・センサが開示されており、その構造は、後述する本発明の双頭型質量センサに外観上類似していると思われる。この振動ジャイロ・センサと本発明の双頭型質量センサの差異については、本発明の双頭型質量センサの実施の形態について説明する際に、比較しながら説明することとする。

## 発明の開示

本発明は上述した質量センサの特性向上に鑑みてなされたものであり、すなわち、本発明によれば、第一の双頭型質量センサとして、第一振動板と互いの側面において接合された第一連結板と、第二振動板と互いの側面において接合された第二連結板との間に、少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に主

素子が配設された第一検出板が、当該各連結板と当該各振動板との接合方向と垂直な方向において跨設されてなる共振部が、少なくとも当該第一連結板と当該第二連結板の一部の側面をセンサ基板に接合してなることを特徴とする双頭型質量センサ、が提供される。

ここで、主素子は、第一検出板と各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されて配設されることも好ましい。

なお、センサ基板と接合される第一連結板の一部の側面とは、より具体的には、第一連結板における第一振動板との接合面に對向する側面をいい、第二連結板についても同様である。つまり、振動板とセンサ基板は各連結板を介して接合される。そして、このような各連結板とセンサ基板との接合の形態は、後述する本発明の双頭型質量センサに共通するものである。また、第一の双頭型質量センサにおいては、第一検出板は、センサ基板と接合されてもよいし、第一検出板とセンサ基板との間に間隙部を設けるように配設されてもよい。このような第一検出板の配設形態については、後述する他の双頭型質量センサにおける各検出板についても同様に当てはまる。

また、本発明によれば、第二の双頭型質量センサとして、第一連結板は第一振動板と、第二連結板は第二振動板と、それぞれ互いの側面において接合され、当該第一連結板が第一検出板と第二検出板との間に位置し、当該第二連結板が当該第一検出板と第三検出板との間に位置するようにして、それぞれ互いの側面において接合され、当該第一検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に主素子が配設され、および／または当該第二検出板および当該第三検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に副素子が配設されてなる共振部が、センサ基板に、少なくとも当該各連結板の一部の側面を接合してなることを特徴とする双頭型質量センサ、が提供される。

ここで、配設された主素子および／または副素子は、各検出板と各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されていてもよい。

なお、第一および第二の双頭型質量センサの双方において、第一検出板の平板面を二等分し、かつ第一検出板の各連結板への跨設方向に垂直な中心線の伸長方向が、第一連結板と第一振動板との接合方向および第二連結板と第二振動板との

接合方向に平行であって、この中心線について対称な形状を有する共振部が形成されている構造が好適に採用される。また、導電性溶液に双頭型質量センサを浸漬させて用いる場合に、各振動板は導電性溶液に浸漬されるが、主素子もしくは副素子は導電性溶液に浸漬されないように、センサ基板上の、各振動板と主素子との中間にあたる位置に、一対の電極からなる位置センサを設けることも好ましい。

さらに、本発明によれば、第三の双頭型質量センサとして、第一振動板が第一連結板と第二連結板に挟持され、第二振動板が第三連結板と第四連結板に挟持されるように、各板が互いの側面において接合され、第一検出板が当該第一連結板と当該第三連結板との間に、また、第二検出板が当該第二連結板と当該第四連結板との間に、それぞれ跨設され、当該各検出板の少なくとも一方の平板面上にそれぞれ主素子が配設されてなる共振部が、センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、少なくとも当該各連結板の一部の側面が接合するように跨設されてなることを特徴とする双頭型質量センサ、が提供される。

ここで、主素子は、各検出板と各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されて配設されることも好ましい。

さらに、本発明によれば、第四の双頭型質量センサとして、第一振動板が第一連結板と第二連結板に挟持され、第二振動板が第三連結板と第四連結板に挟持されるように、各板が互いの側面において接合され、当該第一連結板が第一検出板と第三検出板との間に、当該第三連結板が当該第一検出板と第四検出板との間に、当該第二連結板が第二検出板と第五検出板との間に、当該第四連結板が当該第二検出板と第六検出板との間にそれぞれ位置するように、各板が互いの側面において接合され、当該第一検出板および当該第二検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部にそれぞれ主素子が配設され、および／または当該第三検出板、当該第四検出板、当該第五検出板、当該第六検出板のうち1枚以上の検出板における少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部にそれぞれ副素子が、配設されてなる共振部が、センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、少なくとも当該各連結板の一部の側面が接合されるように跨設されてなることを特徴とする双頭型質量センサ、が提供される。

ここで、主素子および／または副素子が、各検出板と各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されていることも好ましい。

また、上記第三および第四の双頭型質量センサにおいては、第一検出板の平板面を二等分し、かつ第一検出板の第一連結板並びに第三連結板との接合方向に垂直な中心線が、第二検出板の平板面を二等分し、かつ第二検出板の第二連結板並びに第四連結板との接合方向に垂直な中心線と一致し、この中心線の伸長方向が、第一連結板と第二連結板が第一振動板を挟持する方向、および第三連結板と第四連結板が第二振動板を挟持する方向に平行であって、この中心線、およびこの中心線に直交するとともに第一振動板および第二振動板の中心を通る直交線の各線について対称な形状を有する共振部を構成することが好ましい。

さらに、上述した第一から第四の全ての双頭型質量センサにおいて、各主素子および／または各副素子として、第一電極と第二電極および圧電膜よりなる圧電素子が好適に用いられ、その構造としては、第一電極と第二電極の間に圧電膜を挟んだ積層構造、もしくは、圧電膜の平板面上もしくは当該圧電膜と当該圧電膜が配設された検出板との間に第一電極と第二電極とが対向した櫛型電極を配設した構造、または、櫛型電極を形成する第一電極および第二電極の各電極間の隙間に圧電膜を配設した構造が好適に採用される。そして、副素子を配設した場合には、主素子の圧電膜における分極方向と副素子における圧電膜の分極方向とを逆向きとすることが好ましい。なお、圧電膜の材料としては、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛からなる成分を主成分とする材料が好適に用いられる。また、第一電極および／または第二電極が、レーザ加工もしくは機械加工によりその一部を除去して圧電素子の有効電極面積を調整したものであることが好ましい。

なお、本発明における圧電という語意は、圧電作用並びに電歪作用を含むものであり、たとえば、圧電セラミックスには電歪セラミックスも含まれることを意味する。

さらに、各振動板と各連結板および各検出板が、互いの接合により同一平板面を形成していることが好ましく、各検出板は各連結板およびセンサ基板により形成される凹部に嵌合され、接合されていることが好ましい。このため、各振動板

と各連結板および各検出板が、1枚の振動プレートから一体的に形成され、センサ基板が、振動プレートとベースプレートを積層して一体的に形成されていることが好ましい。

加えて、各連結板の同じ向きの一方の平板面もしくは、各連結板の両平板面に、バネ板がそれぞれ貼合され、その各バネ板がセンサ基板もしくはバネ板補強部に接合されていることが好ましい。ここで、各バネ板が振動プレートとベースプレートとの間に嵌合されて一体化される中間プレートと一体的に形成されるか、もしくは、振動プレートに一体化されるバネ板補強部と一体的に形成されて、各連結板とも一体的に形成され、各々を接着剤等で貼合したものでない構造とすると、機械的な信頼性、温度特性も向上し、好ましい。さらに、このようなバネ板を設けた場合には、各バネ板に貼合され、かつ、センサ基板に接合された補強板を設けた構造も好適に採用される。この補強板も各バネ板およびセンサ基板と一緒に形成されていることが好ましい。

また、第一振動板と第二振動板の少なくとも一方の表面もしくは共振部の少なくとも一部の表面に、被検出体とのみ反応して当該被検出体を捕捉する捕捉物質を塗布することで、たとえば免疫センサとして好適に使用される。ここで、各主素子および／または各副素子並びに各主素子および／または各副素子を形成する電極に導通する電極リードが、樹脂またはガラスからなる絶縁コーティング層により被覆されると、導電性溶液中でも支障なく使用することができる。なお、絶縁コーティング材としてはガラスよりも樹脂を用いることが好ましく、特に、フッ素樹脂もしくはシリコーン樹脂が好適に用いられる。さらに、絶縁コーティング層の少なくとも一部の表面を、導電性部材からなるシールド層により被覆すると、外部からの電磁波等のノイズを減少させることができることが可能となり、好ましい。

なお、センサ基板、各振動板、各連結板、各検出板、各バネ板およびバネ板補強部と補強板の材料としては、安定化ジルコニアもしくは部分安定化ジルコニアが好適に用いられ、各振動板、各連結板、各検出板、各バネ板のいずれかの形状が、レーザ加工もしくは機械加工によりトリミングして寸法調整を行ったものであることが好ましい。

次に、本発明によれば、2枚の振動板のそれぞれに、連結板が互いの側面にお

いて接合され、必要に応じて主素子もしくは副素子を配設した検出板が、当該連結板の間に跨設され、もしくは当該連結板を挟持するように配設されて、少なくとも当該連結板の一部の側面をセンサ基板に接合してなる双頭型質量センサにおいて、当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、当該振動板が、当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸に垂直であり、かつ、当該振動板の平板面に垂直な方向へ屈曲する曲げモード振動、もしくは、当該垂直軸を中心軸として当該垂直軸回りに回転振動する軸回転モード振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直であり、かつ、当該垂直軸に垂直な方向に振り子状に振動するθモード揺れ振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直であり、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該各振動板の側面に平行な方向の揺れを伴いながら振り子状に振動するφモード揺れ振動、のいずれかの振動に基づく当該双頭型質量センサの共振部の共振周波数を当該素子により測定することを特徴とする双頭型質量センサの質量検出方法、が提供される。

なお、このような双頭型質量センサの質量検出方法は、上述した第一および第二の双頭型質量センサを用いた質量検出方法として好適に採用される。

さらに、本発明によれば、2枚の振動板のそれぞれが、連結板に挟持されるように互いの側面において接合され、必要に応じて主素子もしくは副素子を配した検出板が、当該連結板の間に跨設され、もしくは当該連結板を挟持するように配設され、センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、少なくとも当該連結板の一部の側面が接合されるように跨設してなる双頭型質量センサにおいて、当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、当該振動板が、当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心軸として当該垂直軸回りに回転振動する軸回転モード振動、もしくは、当該振動板の中心を中心として当該振動板の平板面内において回転反復振動するκモード平面回転振動、もしくは、当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該各振動板の側面に平行な方向の揺れを伴いながら振り子状に振動するφモード揺れ振動、もしくは、当該振動板の平板面内で、当該垂直軸に直交する方向に往復振動する一軸モード往復振動、のいずれかの振動に基づく当該双頭型質量セン

サの共振部の共振周波数を当該素子により測定することを特徴とする双頭型質量センサの質量検出方法、が提供される。

なお、この場合の双頭型質量センサの質量検出方法は、上述した第三および第四の双頭型質量センサを用いた質量検出方法として好適に採用される。

また、上述した2通りの双頭型質量センサの質量検出方法においては、一方の振動板および一方の振動板に接合される連結板の質量は変化せず、他方の振動板および他方の振動板に接合される連結板の質量が変化することにより現れる2つの共振周波数の差を求めることにより、この他方の振動板および他方の振動板に接合される連結板の質量変化を検出する方法が好適に採用される。

上述の通り、本発明の双頭型質量センサは、共振部の共振周波数の変化という具体的な数値により、確実にしかも短時間の間に共振部に生じた微小質量の変化を知ることができ、しかも、測定操作が容易であり、測定精度も高いという特徴を有している。

また、双頭型質量センサは、振動板を含む共振部の共振周波数を変化させる環境下におくことによって、種々の物理量を測定することが可能である。たとえば、振動板の直接の質量変化を利用する蒸着膜厚計や露点計、振動板の置かれた真空度や粘性あるいは温度といった環境を利用する真空計や粘性計あるいは温度センサ、そして、特に、検体中における微生物や化学物質等の被検出体と選択的に反応する捕捉物質を振動板に塗布し、その質量変化を利用した被検出体の存在の有無とその質量の測定に好適に用いることができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の双頭型質量センサの一実施形態を示す平面図である。

図2は、本発明の双頭型質量センサの別の実施形態を示す平面図である。

図3は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図4は、本発明の双頭型質量センサに形成される圧電素子の一実施形態を示す斜視図である。

図5は、本発明の双頭型質量センサに形成される圧電素子の別の実施形態を示す斜視図である。

図 6 は、本発明の双頭型質量センサに形成される圧電素子のさらに別の実施形態を示す斜視図である。

図 7 は、本発明の双頭型質量センサの振動モードの説明図であり、(a) は  $\theta$  モード揺れ振動の説明図、(b) は  $\phi$  モード揺れ振動の説明図である。

図 8 は、振動板の形状を異ならしめた本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 9 は、本発明の双頭型質量センサ使用時の共振周波数の変化の一態様を示す説明図である。

図 10 は、本発明の双頭型質量センサ使用時の共振周波数の変化の別の態様を示す説明図である。

図 11 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a) は平面図であり、(b) ~ (e) は断面図である。

図 12 は、本発明の双頭型質量センサの駆動に関する説明図である。

図 13 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a) は平面図であり、(b) は断面図である。

図 14 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 15 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示し、(a) は平面図であり、(b) ~ (d) は断面図である。

図 16 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 17 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 18 は、本発明の双頭型質量センサのさらに別の実施形態を示す平面図である。

図 19 は、本発明の双頭型質量センサの作製に使用する各種グリーンシートの形状の一実施形態を示す平面図である。

図 20 は、本発明の双頭型質量センサにおける振動板の形状設定に関する説明図である。

図21は、本発明の双頭型質量センサの圧電素子の加工方法の一例を示す説明図である。

図22は、従来の質量センサの基本構造を示す断面図である。

図23は、従来の水晶摩擦真空計の水晶振動子の構造を示す斜視図である。

図24は、従来の振動ジャイロ・センサの一実施形態を示す斜視図である。

図25は、従来の振動ジャイロ・センサの別の実施形態を示す斜視図である。

### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の双頭型質量センサについて、特に特定の被検出体とのみ反応してその被検出体を捕捉する捕捉物質を振動板に塗布して使用する質量センサとしての用途を中心に図面を参照しながら説明する。

但し、本発明には上述したように他に多くの用途があるため、本発明が以下の説明に限定されるものではないことはいうまでもない。

図1は、第一の双頭型質量センサ25の一実施形態を示す平面図である。第一振動板21Aと互いの側面において接合された第一連結板22Aと、第二振動板21Bと互いの側面において接合された第二連結板22Bとの間に、少なくとも一方の平板面上に主素子44が配設された第一検出板41Aが跨設されて、各振動板21A・21Bと各連結板22A・22Bと第一検出板41Aおよび主素子44からなる共振部が、センサ基板27に第一連結板22Aと第二連結板22Bの一部の側面を接合して、双頭型質量センサ25が形成されている。

なお、振動板とは主に質量変化を起こさせる場もしくは受ける場であって、後述する種々のモードで振動する要素をいい、連結板とは振動板とセンサ基板ならびに検出板とを連結する要素をいい、検出板とは振動板の動きによって歪みを生じ、表面に配設した圧電素子等の検知素子にその歪みを伝達し、もしくはその逆に圧電素子等の駆動素子が発生する歪みないし振動を振動板に伝達する要素をいうものとする。また、センサ基板は、共振部を保持すると共に、測定装置へ取り付けるための種々の電極端子を配設し、実際の使用においてハンドリングに供される要素をいう。なお、双頭型質量センサ25においては、検出板は1枚のみであるが、後述する他の双頭型質量センサにおける各検出板との表記を合わせるた

めに、第一検出板 41A と表すこととする。

この双頭型質量センサ 25においては、第一検出板 41A は、センサ基板 27 とも接合されている。また、第一検出板 41A の平板面を二等分し、第一検出板 41A の各連結板 22A・22B への跨設方向に垂直な中心線、すなわち Y 軸の伸長方向が、第一連結板 22A と第一振動板 21A との接合方向である Y1 軸、および第二連結板 22B と第二振動板 21B との接合方向である Y2 軸に平行であって、Y 軸について対称な形状を有する共振部が構成されている。さらに、主素子 44 を、センサ基板 27 側と各振動板 21A・21B 側とに分割されている分割素子 43A・43B から形成する構造が好適に採用される。

センサ基板 27 上の、各振動板 21A・21B と主素子 44 との中間にあたる位置に、一対の電極からなる位置センサ 28 が設けられているが、この位置センサ 28 は、導電性溶液に双頭型質量センサ 25 を浸漬させて用いる場合に、各振動板 21A・21B は導電性溶液に浸漬されるが、主素子 44 は導電性溶液に浸漬されないようにするといった用途に好適に用いられる。したがって、双頭型質量センサ 25 全体を導電性溶液に浸漬して使用する場合や気体雰囲気中で使用する場合等においては、位置センサ 28 は必ずしも必要なものではなく、位置センサ 28 を設けない場合には、センサ基板 27 として、図 1 に示されるような凹型の溝部 23 を有するものを使用しなくともよい。

なお、双頭型質量センサ 25 全体を導電性溶液に浸漬して使用する場合には、主素子 44 および主素子 44 を構成する電極に導通する電極リードを、ガラスあるいは樹脂からなる絶縁コーティング層で被覆することが必要であるが、詳細は後に具体例を挙げて説明することとする。

次に、図 2 (a) は第二の双頭型質量センサ 40A の一実施形態を示す平面図である。第一連結板 22A は第一振動板 21A と、第二連結板 22B は第二振動板 21B と、それぞれ互いの側面において接合され、第一連結板 22A が第一検出板 41A と第二検出板 41B との間に位置し、第二連結板 22B が第一検出板 41A と第三検出板 41C との間に位置するようにして、それぞれ互いの側面において接合されている。そして、第一検出板 41A の少なくとも一方の平板面上に主素子 44 が配設されて、各振動板 21A・21B と各連結板 22A・22B

と各検出板41A・41B・41Cおよび主素子44からなる共振部が、センサ基板27に、各連結板22A・22Bの一部の側面を接合することで、双頭型質量センサ40Aが構成されている。

各検出板41A・41B・41Cは、双頭型質量センサ25の場合と同様にセンサ基板27に接合されている。また、第一検出板41Aの平板面を二等分し、第一検出板41Aの各連結板22A・22Bへの跨設方向に垂直な中心線であるY軸の伸長方向が、第一連結板22Aと第一振動板21Aとの接合方向であるY1軸、および第二連結板22Bと第二振動板21Bとの接合方向であるY2軸に平行であって、Y軸について対称な形状を有する共振部が形成されている。また、センサ基板27には、位置センサ28が設けられている。

ここで、双頭型質量センサ40Aにおいても、双頭型質量センサ25と同様に、主素子44を、各検出板41A～41Cと各連結板22A・22Bとの接合方向であるY軸に垂直な方向、つまりX軸方向に分割されている分割素子43A・43Bから形成してもかまわない。また、第二検出板41Bおよび第三検出板41Cのそれぞれ少なくとも一方の平板面に副素子42Aおよび副素子42Bを設けることが好ましい。こうして、副素子42A・42Bを配設した場合には、副素子42A・42Bを、主素子44と同様にして分割素子から形成してもよい。

但し、第二検出板41Bと第三検出板41Cとを設けた場合であっても、必ずしも副素子42A・42Bを配設する必要はない。これは、副素子42A・42Bは、後述するように、特定の測定条件において共振周波数の測定に使用するものだからであり、また、第二検出板41Bと第三検出板41Cは、各連結板22A・22BのY1軸およびY2軸回りの回転を抑える効果を有するからである。

一方、主素子44を使用せず、副素子42A・42Bのみを使用することもまた可能である。例えば、後述する使用方法でも述べているが、主素子44を使用して測定した場合、共振ピークがスプリットしたツインピークとなる場合がある。このとき、そのピーク位置が十分に離れている場合には、それぞれのピーク位置から共振周波数を読み取ることは容易であるが、非常に近い位置にピークがある場合には、ピークの分離が難しく、共振周波数を読み取る際の誤差になり易いという問題が生じる。

このような事態が想定される場合には、主素子4 4 を用いずに副素子4 2 A・4 2 Bを用いて測定すると、ピーク値が接近している場合であっても、強度差が明確に現れるために判定し易いという利点がある。また、副素子4 2 A・4 2 Bのみを用いる場合には、図2 (b) の双頭型質量センサ4 0 Bに示されるように、主素子4 4 を配設せずに、副素子4 2 A・4 2 Bのみを配設すると、第一検出板4 1 Aの部分の剛性が低下して各振動板2 1 A・2 1 Bが振動し易くなり、ピーク強度を上げることができ、好ましい。このとき、第一検出板4 1 Aに、Y軸方向(図2 (a) 参照)に平行な1以上のスリット(切れ込み)を設けてもよい。なお、副素子4 2 A・4 2 Bを配設した場合には、副素子4 2 A・4 2 Bを利用すると利用しないにかかわらず、副素子4 2 A・4 2 Bが共振部の構成要素であることはいうまでもない。

なお、双頭型質量センサ4 0 A・4 0 Bにおいては、各検出板4 1 A・4 1 B・4 1 Cは、各連結板2 2 A・2 2 Bとセンサ基板2 7 とから形成される3箇所の凹部2 4 A・2 4 B・2 4 Cにそれぞれ嵌合され、接合されていることが高感度化でき、非常に好ましい。しかし、図3に示す双頭型質量センサ4 5に示されるように、第一検出板4 1 Aがセンサ基板2 7と接合されず、第一検出板4 1 Aとセンサ基板2 7との間に隙間部4 6 Aが設けられていても、必要とする感度に応じて使用できる場合もある。このような隙間部4 6 Aは、双頭型質量センサ2 5についても同様に形成することができる。

また、第二・第三検出板4 1 B・4 1 Cは、各振動板2 1 A・2 1 B等からの応力を受けて歪を生ずるために、各連結板2 2 A・2 2 Bとセンサ基板2 7の左右侧面とにおいて接合される必要があるが、下部側面はセンサ基板2 7と接合されることなく、隙間部4 6 Bを設けても構わない。但し、このような隙間部4 6 A・4 6 Bを設けた場合には、各検出板4 1 A・4 1 B・4 1 Cにかかる応力の一部が各検出板4 1 A・4 1 B・4 1 Cが変形することで解放されるために隙間部4 6 A・4 6 Bを設けない場合よりも、検出感度が劣る欠点がある。

上述した双頭型質量センサ2 5・4 0 A・4 0 B・4 5および後述する双頭型質量センサ5 0(以下、これらを「双頭型質量センサ2 5等」とする。)において、各振動板2 1 A・2 1 Bの平板面の形状は図1～図3に示した長方形に限定

されるものではなく、円形、三角形、多角形や橢円形、長円形等の種々の任意の形状のものを用いることが可能であり、好ましくはY軸について対称となるように配設される。そして、この場合に各振動板21A・21Bは、Y軸について対称であれば、それぞれY1軸およびY2軸については対称とならずに各連結板22A・22Bにそれぞれ接合されてもよい。このような各振動板21A・21Bの形状に対する自由度は、本発明の全ての双頭型質量センサに適用される。

双頭型質量センサ25等に配設される主素子44もしくは副素子42A・42Bとしては、第一電極と第二電極および圧電膜から構成される圧電素子が好適に用いられる。この圧電素子としては、図4に示すような、第一電極90、圧電膜91、第二電極92が層状に形成された積層型構造を有する圧電素子100が挙げられる。ここで、第一電極90と第二電極92には、それぞれリード部93、94が接続されており、このリード部93・94を図1～図3に示したセンサ基板27の底部まで導き、測定端子等が接続される端子部が形成される。なお、図1～図3においては、これらリード部93・94および端子部は省略されている。

また、図5に示すように、検出板95上に圧電膜96を配し、圧電膜96上部に、第一電極97と第二電極98とが、一定の隙間部99を形成した櫛型構造を有する圧電素子101も好適に採用される。ここで、図5における第一電極97と第二電極98は、検出板95と圧電膜96との接続面の間に形成されてもかまわない。さらに、図6に示すように、検出板95上に形成した櫛型の第一電極97と第二電極98との間隙部に圧電膜96を埋設するようにして圧電素子102としてもよい。このような図5および図6に示した櫛型電極を用いる場合には、ピッチWを小さくすることで、測定感度を上げることが可能となる。これらの圧電素子100～102は、本発明における双頭型質量センサ全てに好適に用いられる。

なお、双頭型質量センサ25等に配設される主素子44もしくは副素子42A・42Bたる圧電素子100～102をはじめ、双頭型質量センサ25等における各振動板21A・21B等の共振部を構成する各部材、センサ基板27の形成方法や好適に使用される材料等については、後述する本発明の第三、第四の双頭型質量センサの場合と重複するため、後述する本発明の双頭型質量センサについて

ての製造方法において併せて詳述する。

次に、双頭型質量センサ25等における各振動板21A・21Bの代表的な振動モードであり、好適に採用する振動モードについて説明する。双頭型質量センサ25等の構造は、簡単には、2枚の振動板のそれぞれに連結板が互いの側面において接合され、必要に応じて主素子もしくは副素子を配設した検出板が、その連結板の間に跨設され、もしくはその連結板を挟持するように配設されて、その連結板およびその検出板をセンサ基板に接合してなる、と表現することができる。そして、各振動板21A・21Bの振動モードは、第一振動板21Aと第二振動板21Bとで同じであることから、以下、第一振動板21Aを例に、図2を用いて説明する。

第1の振動モードは、第一連結板22Aとセンサ基板27とが接合されている接合面を固定面として、第一振動板21Aが、この固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸であるY1軸に垂直であり、かつ、第一振動板21Aの平板面に垂直な方向（Z軸方向、図2中には図示せず）へ屈曲する曲げモード振動であり、第2の振動モードは、第一振動板21Aが、Y1軸を中心軸としてY1軸回りに回転振動する軸回転モードの振動である。

第3の振動モードは、第一振動板21Aが、このY1軸を中心軸として、第一振動板21Aの側面に垂直であり、かつ、Y1軸に垂直な方向であるX軸方向に振り子状に振動するθモードの揺れ振動である。

第4の振動モードは、第一振動板21Aが、Y1軸を中心として、第一振動板21Aの側面に垂直、かつ、Y1軸に垂直な方向であるX軸への揺れが第一振動板21Aの側面に平行な方向（Z軸、図2中に図示せず）の揺れを伴いながら振り子状に振動するφモード揺れ振動である。これら4種の振動モードのいずれかの振動に基づく共振部の共振周波数を主素子44を用いて、さらに、必要に応じて副素子42A・42Bを併用して測定することが好ましい。

なお、これらの各種の変位モードは、振動板21Aの変位方向がそれぞれ前述した方向に支配的であることを意味しているものであって、記された方向以外の方向成分を有することを完全に排除しているものではない。このことは、以下、種々の実施の形態について説明する際に、変位モードについて言及する場合にも

同様に言えることである。

ここで、上記 $\theta$ モードおよび $\phi$ モードについてさらに詳細に説明する。図7(a)は $\theta$ モードを説明するための平面図であり、第一振動板21Aを図2の矢視AA、すなわち、X軸上をY軸方向からみた平面図を示している。第一振動板21Aの上部端面21Fは、振動していない状態では位置P1にある。ここで、上述の通り、 $\theta$ モードにおいては、第一振動板21Aは、第一振動板21Aの平板面に平行な面、すなわち、X-Y平面内においてY1軸を中心としてY1軸と一定角度 $\theta$ をなすようにX軸方向に振り子状に振動するため、矢視AAにおいては、上部端面21Fの動きは、X軸上の位置P2と位置P3との間を往復する運動として表すことができ、この振動運動を $\theta$ モードと定義する。

次に、図7(b)は $\phi$ モードを説明するための平面図であり、図7(a)同様に、第一振動板21Aを図2中の矢視AAから見た平面図を示している。ここでも第一振動板21Aの上部端面21Fは、振動していない状態では位置P1にある。前述の通り、 $\phi$ モードにおいては、第一振動板21Aは、Y1軸を中心としたX軸方向への振動であり、かつ、Y1軸から離れるにしたがって第一振動板21Aの側面に平行なZ軸方向の揺れの成分が大きくなるように振り子状に振動する。このことは、矢視AAにおける上部端面21Fの動きが、Z軸上的一点を中心Oとし、位置P1を通る円弧軌道S上の位置P4と位置P5間を往復する振動として表されることを意味する。このときの、第一振動板21Aと中心Oとを結ぶ直線とZ軸とのなす角が $\phi$ であり、上記振動モードを $\phi$ モードと定義するものである。

上述した各種の振動モードを用いた場合、双頭型質量センサ25等においては、第一検出板41Aについてみれば、1つの主素子44に対して、2枚の振動板21A・21Bがあるため、ダイナミックレンジを稼ぐことができる利点があり、また、各振動板21A・21Bと各連結板22A・22Bおよび第一検出板41Aと主素子44の構造は音叉型となり、高いQ値を得るに適している。

なお、上述した各種の振動モードのうち、曲げモード並びに軸回転モードを利用して各振動板21A・21Bを検体たる液体に浸漬して共振周波数を測定する場合には、各振動板21A・21Bは各振動板21A・21Bの面積の大きさに

応じて液体からの抵抗を受け、各振動板 21A・21B の微小質量変化をとらえ難くなる欠点がある。しかし、検体が気体の場合にはこの抵抗が小さいために曲げモードを用いることができ、このときは、各振動板 21A・21B の Y 軸方向長さと X 軸方向長さを短くとることが好ましい。

また、Y 軸を中心軸とする軸回転モードにおいては、各振動板 21A・21B における Y1・Y2 軸上の質量変化は、各振動板 21A・21B の回転振動にほとんど影響をおよぼさない。すなわち、各連結板 22A・22B の幅を各振動板 21A・21B へ延長した部分である各振動板 21A・21B における Y1・Y2 軸近傍での各振動板 21A・21B の質量変化は、各振動板 21A・21B の左右端における同じ質量変化よりも回転振動に寄与せず、これらの場合を比較すると測定感度に差が生ずる。そこで、図 8 に示す双頭型質量センサ 50 のように、各振動板 21A・21B の形状を凹型とした振動板 29A・29B とすることにより、Y1・Y2 軸近傍の面積を小さくすることで測定誤差を小さくすることができる。このとき、質量変化が同じ場合に、付着位置での測定誤差を小さくするためには寸法 H<sub>1</sub> を短くし、ダイナミックレンジを上げるために寸法 H<sub>2</sub> を長くすることが好ましい。

これに対し、θ モードもしくは ϕ モードを用いた場合には、検体たる液体、気体の別を問わず、また、付着物質の各振動板 21A・21B への付着位置による影響は小さく、かつ、液体、気体中では各振動板 21A・21B の厚みが薄いために密度や粘性等の影響が小さく、しかも各振動板 21A・21B は剛体モードとして動作するために温度変化に強く、最も検出感度と対環境性に優れたものとなる。また、図 2 に示した寸法 H<sub>3</sub>、H<sub>4</sub> を短くすることにより、さらに付着位置による影響を小さくすることができる。したがって、本発明の双頭型質量センサ 25 等においては θ モードもしくは ϕ モードを利用することが好ましい。

さらに、双頭型質量センサ 25 等においては、主素子 44 を図 1～図 3 に示すように、上下に分割し、独立した分割素子 43A・43B の 2 素子から構成し、一方を駆動用（励振用）、他方を検出用（受振用）とすると、主素子 44 を分割せずに用いた場合と比較して、検出精度（S/N 比）を向上させることができる。この場合、各振動板 21A・21B 側の分割素子 43A を駆動用、センサ基板 2

7側の分割素子43Bを検出用として用いると、各振動板21A・21Bの振動振幅を大きくし、分割素子43Bにかかる応力を大きくすることができるので好ましい。

このような主素子44の分割は、主素子44の形成時において、最初から各分割素子43A・43Bとして別々に形成する方法と、1つの主素子44を形成した後にレーザ加工あるいは機械加工等により分割して各分割素子43A・43Bを形成する方法のいずれを用いてもよい。

但し、図5または図6に示した櫛型電極を有する圧電素子では、後者の加工方法を用いた場合に、分割により各分割素子43A・43Bが機能しないか、あるいは各分割素子43A・43Bに新たにリード部を設ける必要が生ずることから、このような作業を回避するため、図4に示した積層型の圧電素子を採用することが製造工程上、好ましい。この積層型の圧電素子を用いる場合には、上部電極である第二電極92とこれに導通するリード部94および圧電膜91を分割し、下部電極である第一電極90およびこれに導通するリード部93については分割することなく共通に用いることもできる。もちろん、第一電極90とこれに導通するリード部93を圧電膜91等と同様に分割してもかまわない。【0061】

こうして、主素子44のみを使用して共振周波数を測定することが可能であり、副素子42A・42Bは必ずしも必要ではないが、θモードにおけるQ値を向上させるために、副素子42A・42Bを配設することが特に好ましい。このとき、副素子42A・42Bにおける圧電膜の分極方向を同じくし、主素子44の圧電膜の分極方向とは逆向きとすると、圧電素子の電荷出力を大きくすることができ、好ましい。

ここで、副素子42A・42Bについても、主素子44を分割した場合と同様にして分割し、駆動と検出とを別個の素子で行うと、主素子44において得られるS/N比の向上という効果を、副素子42A・42Bについても得ることができるようになり、好ましい。

続いて、双頭型質量センサ25等の使用方法について、双頭型質量センサ40Aを抗原等を検出する免疫センサとして用いた場合を例に説明する。まず、検出すべき抗原とのみ反応してその抗原を捕捉する抗体を共振部に塗布するが、この

とき主として各振動板 21A・21B に塗布する。また、各連結板 22A・22B に抗体を塗布してもよい。但し、抗原を含む検体が導電性を有する液体等の場合には、各検出板 41A・41B・41C および主素子 44、各副素子 42A・42B には抗体は塗布せずに、これらの表面をテフロン等の化学的に安定で、しかも物質の付着し難い樹脂で絶縁コーティングすることが好ましい。なお、このような絶縁コーティングを主素子 44、各副素子 42A・42B に施した場合には、これら主素子 44、各副素子 42A・42B に導通するリード部にも絶縁コーティングを施すことが好ましい。

なお、抗原／抗体の組み合わせとしては、たとえば、ヒト血清アルブミン／抗ヒト血清アルブミン抗体、ヒト免疫グロブリン／抗ヒト免疫グロブリン抗体等が挙げられる。

そして、各振動板 21A・21B が検体たる液体に浸漬し、あるいは特定のガス雰囲気にさらされた状態において、主素子 44 および必要に応じて副素子 42A・42B を用いて共振部の共振周波数を測定する。なお、各振動板 21A・21B を液体に浸漬させた後に気体中で、抗体を塗布した部分もしくは双頭型質量センサ 40A 全体を乾燥させて共振周波数を測定してもよい。

ここで、双頭型質量センサ 40A の共振周波数は、各振動板 21A・21B の質量に依存して変化する。すなわち、図 9 に示すように、各振動板 21A・21B に抗原が捕捉されていない初期状態での共振部の共振周波数  $F_0$  と、抗原が捕捉された後での共振部の共振周波数  $F_1$  とは、捕捉された抗原の質量に依存して異なる値を示す。したがって、この共振周波数  $F_0$  から  $F_1$  への変化を主素子 44 により測定し、さらに、状況に応じて副素子 42A・42B を併用して測定することにより、各振動板 21A・21B に捕捉された抗原の質量を測定することが可能となる。

このような使用方法に対し、各振動板 21A・21B の一方、たとえば、第一振動板 21A にのみ抗体を塗布し、他方の第二振動板 21B には塗布せず、もしくは無反応性の化学物質等を塗布すると、図 10 (a) に示すように、初期状態では各振動板 21A・21B に基づく共振周波数が同一の  $F_0$  であったものが、各振動板 21A・21B を検体に浸漬等することにより、検体中の抗原が第一振動

- 21 -

板21Aに塗布された抗体に捕捉され、第一振動板21Aのみが質量変化して第一振動板21Aに起因する共振周波数のみがシフトして $F_1$ が現れ、周波数 $F_0$ と $F_1$ においてピークを有するツインピーク型の曲線を示すようになる。このときの2つのピークを示す共振周波数の差である $\Delta F$ を求めるとき、第一振動板21Aにおける質量変化を容易に測定することができる。

これに対し、各振動板21A・21Bの一方、たとえば、第一振動板21Aにある抗体を塗布し、他方の第二振動板21Bには第一振動板21Aに塗布したものと異なる抗体を塗布すると、図10(b)に示すように、初期状態では各振動板21A・21Bに基づく共振周波数が同一の $F_0$ であったものが、各振動板21A・21Bを検体に浸漬等することにより、検体中のある抗原が第一振動板21Aに塗布された抗体に捕捉され、一方、検体中に含まれていた別の抗原が第二振動板21Bに塗布された抗体に捕捉されてそれぞれ共振周波数がシフトして、周波数 $F_0$ におけるピークが消失し、代わりに周波数 $F_1$ および $F_2$ においてピークを有するツインピーク型の曲線を示すようになる。このときの初期の共振周波数 $F_0$ と2つのピークを示す共振周波数の差である $\Delta F_1$ および $\Delta F_2$ を求めるとき、各振動板21A・21Bにおけるそれぞれの質量変化を測定することができる。

このように、各振動板21A・21Bのいずれか一方を参照用のセンサとして用いる方法、あるいはそれぞれ異なる質量変化の測定に用いる方法を考慮すると、一方の振動板を用いて主目的たる質量変化の測定を行いながら、検体たる流体の流れや温度といった検体の物理的特性を他方の振動板を用いて測定することで、検査環境の影響を排除して、測定を行うこともまた可能となる。【0070】

なお、上述した共振周波数の変化は、振動板に質量変化があったときに限られず、共振部を構成する連結板や検出板あるいは主素子や副素子に質量変化等が生じた場合にも生ずる。したがって、測定目的や測定対象によっては、振動板以外の部位の質量変化を測定することが都合のよい場合や、抗体等の塗布面積を広くするために共振部全体に抗体等を塗布するといった使用方法もあり、必ずしも質量変化等が振動板においてのみ起こらなければならないというものではない。

同様の原理により、双頭型質量センサ25等は、各振動板21A・21Bある

いは共振部の質量が初期状態から減少するような場合において、その減少量を測定するために使用することも可能である。たとえば、塗布した抗体が何らかの原因で剥離したときや、各振動板 21A・21B に塗布した材料の微小腐食や特定溶液に対する微小溶解量を調べる場合、あるいは各振動板 21A・21B に抗体ではなく特定の化学物質を塗布して、その化学物質の変化（蒸発、溶解等）量を測定する目的にも好適に使用することができる。

このような各振動板 21A・21B もしくは共振部の質量変化にともなう共振周波数変化の測定に当たっては、前述したように、θモードもしくは ϕ モードの共振周波数を用いることが好ましい。たとえば、主素子 44（および副素子 42A・42B）を構成する第一電極および第二電極を通して圧電膜に交流電圧をかけた場合には、圧電膜には  $d_{31}$  あるいは  $d_{33}$  により伸縮振動が生じて第一検出板 42A（および第二検出板 42B と第三検出板 42C）に屈曲運動が生じ、各振動板 21A・21B の質量に応じて各振動板 21A・21B の振動角  $\theta$  が変化して、ある周波数のときに共振現象が生ずる。したがって、この共振周波数の変化を調べることは各振動板 21A・21B の質量変化の有無を調べることとなり、各振動板 21A・21B に抗原等の被検出体が捕捉されたか否かを判断することが可能となる。

一方、各振動板 21A・21B が、外部からの励振力等で振動すると、その動きは各検出板 41A・41B・41C へ伝達され、各検出板 41A・41B・41C に屈曲／撓み振動が生じ、このとき、第一検出板 41A の平板面上に配設された主素子 44（および第二検出板 41B 上の副素子 42B と第三検出板 41C 上の副素子 42B）として、図 4 に示す積層型の圧電素子 100 を用いた場合には、圧電膜 91 に伸縮振動が生じて圧電膜 91 の電気機械結合係数  $k_{31}$ （圧電定数  $d_{31}$ ）に基づく一定の電圧もしくは電荷が発生する。なお、主素子 44（および副素子 42A・42B）が、櫛型電極構造を有する圧電素子、たとえば、図 5 および図 6 に示した圧電素子 101・102 である場合には  $k_{33}$ （ $d_{33}$ ）に基づいて一定の電圧もしくは電荷が発生する。このような電圧値の  $P - P$  値を検出し、 $P - P$  値の極大となる周波数を検知することで、θ モード等の共振周波数を検出し、質量変化を知ることが可能となる。

なお、主素子44（および副素子42A・42B）を第一検出板41A（および第二検出板41Bと第三検出板41C）の両平板面に2箇所設けて、得られる信号を比較演算することにより、ノイズを減少させ、他の振動モードの影響を排除し、検出精度を向上させることが可能となる。

また、検出感度を向上させる別の手段として、各振動板21A・21Bを薄くして抗原等の被検出体との質量比（被検出体の質量／各振動板21A・21Bの質量）を大きくする、すなわち、各振動板21A・21Bの質量変化割合を大きくする方法が挙げられる。さらに、各振動板21A・21Bを薄くするときに、質量を変えず表面積が大きくなるようにすると、抗体等の捕捉物質を塗布する面積が大きくなりより多くの被検出体を捕捉することができるようになり、検出感度を向上させることができる。

次に、双頭型質量センサ40Aにバネ板47およびバネ板補強部48を配設した実施形態である双頭型質量センサ55の平面図を図11（a）に示し、図11（b）～（e）に、そのバネ板47およびバネ板補強部48の配設例を示すY1軸におけるX軸方向から見た種々の断面図を示している。なお、図11（b）～（d）の断面形態はY2軸についても同様であり、X軸はY1軸およびY2軸と直交する方向を示す。

バネ板47は、各連結板22A・22Bの少なくとも同じ向きの平板面に接合されるが、その幅は、図11（a）に示されるように各連結板22A・22Bよりも狭くともよいが、各連結板22A・22Bの幅と同じとすること、および各連結板22A・22Bの両平板面にバネ板47を配設するときにはそれらの形状を同じくすることが、後述するセンサ特性上および製造上好ましい。このようなバネ板47は、原則としてセンサ基板27とも接合されるが、このとき各連結板22A・22Bのセンサ基板27との接合位置により、バネ板補強部48の配設の必要性の有無が判断される。

すなわち、以下、第一連結板22Aを例にとれば、図11（b）・（c）に示すように、バネ板47A・47Bが直接にセンサ基板27に接合できるような位置に第一連結板22Aが接合されている場合には、センサ基板27がバネ板補強部48の機能を兼ねるためにバネ板補強部48を別途設ける必要はない。またこ

のとき、バネ板47A・47Bは、片方のみを第一連結板22Aの一方の平板面にのみ配設してもよい。

しかしながら、図11(d)に示されるように、第一連結板22Aがセンサ基板27端部に接合されている場合には、バネ板47Aについてはセンサ基板27がバネ板補強部48の機能を兼ねるが、バネ板47Bについては、バネ板47Bを支持する部位としてバネ板補強部48を設けることが好ましい。なお、図11(e)に示すように、第一連結板22Aがセンサ基板27端部に接合されている場合であっても、センサ基板27に接合することができるバネ板47Aのみを設け、バネ板47Bを設けない場合には、バネ板補強部48は必要ではない。なお、第二連結板22Bについては、第一連結板21Aと同様に考えることができる。

こうして、バネ板47を設けることにより、共振部の機械的強度が高められる。また、これにより各振動板21A・21Bおよび各連結板22A・22Bの薄肉化が図れ、液体中での測定における共振ピークの減衰が少なくなるといった利点がある。さらに、各連結板22A・22Bの両平板面にバネ板47を設けた場合には、主素子44により各振動板21A・21Bを励振させるときに、各連結板22A・22Bとバネ板47から構成されるバネ部の重心点を励振できるため、各振動板21A・21Bがθモードに揺れやすくなり、好ましい。

すなわち、図11の平面図(a)において、断面図(d)および(e)の実施形態を有するものの、X軸上Y1軸方向から見た連結板22Aの近傍を示す断面図を、それぞれ図12(a)、(b)に示すが、図12(a)においては、主素子44は、バネ板47A・47Bが同じ材質からなり、同じ形状を有する場合には、バネ板47Aとバネ板47Bおよび第一連結板22Aの中心OをX軸方向に励振できるために、第一振動板21Aおよび共振部全体がX軸方向に揺れやすく、したがってθモードに揺れやすくなる。

このことから、各連結板22A・22Bの両平板面にバネ板47A・47Bを貼合する場合には、バネ部の重心が各連結板22A・22Bにあるならば、バネ板47A・47Bの材質に異なるものを用い、その形状を異ならしめてもかまわない。

これに対し、図12(b)においては、バネ板47Aと第一連結板22Aの中

心Oが第一連結板22A上にないために、バネ板47A自体の有する剛性に起因して、回転モードが抑制されているにもかかわらず、主素子44によるX軸方向の駆動力（矢印S<sub>1</sub>）は、中心Oに対して回転力（矢印S<sub>2</sub>）として加わり、回転モードが生じ易くなることとなる。

さて、前述のように、バネ板47を設けた場合には、さらに図13の双頭型質量センサ60に示すように、バネ板47に貼合され、かつ、センサ基板27の側面に接合されるような補強板49を設けることも好ましい。なお、図13（a）は、双頭型質量センサ60を裏面からみた正面図を示し、図13（b）は、図13（a）中のX軸におけるY軸方向から見た断面図を示したものである。ここで、補強板49は、各連結板22A・22Bに貼合されたバネ板47A・47Cに貼合され、かつ、センサ基板27に接合されている。さらに、補強板49は、バネ板47A・47Cおよびセンサ基板27と一体的に形成されていることが好ましい。

このような構造とすることにより、各振動板21A・21Bは、θモードおよびφモードにおいて共振し易くなるため、Q値の減衰が小さくなり、検出感度が向上するといった利点がある。そのため、特に、液体中での測定に好適に使用することができる。

さらに、双頭型質量センサ55・60の検出感度をより向上させるためには、共振部の共振周波数の変化を大きくすることが必要であるが、このための一つの手段として、各振動板21A・21Bとバネ板47との質量比を制御する方法が挙げられる。バネ板47を薄くして質量を軽くし、各振動板21A・21Bとの質量比（各振動板21A・21Bの質量／バネ板47の質量）が大きくなるほど検出感度が向上する。

しかしながら、バネ板47を薄くして軽量化するにしたがって、バネ板47の剛性が低下するため、各振動板21A・21Bの厚みと面積を考慮に入れつつ、バネ板47および各連結板22A・22Bの剛性が確保されるように、質量比（各振動板21A・21Bの質量／（バネ板47の質量+各連結板22A・22Bの質量））を0.1以上とし、さらに各振動板21A・21Bの面積を考慮し、適宜、好適な比率にすることが好ましい。

なお、上述したバネ板は、後述する本発明の双頭型質量センサの製造方法に記されるように、振動プレートとベースプレートとの間に嵌挿されて一体化される中間プレートと一体的に形成され、もしくは、振動プレートと一体的に形成されるバネ板補強部と一体的に形成され、さらに、各連結板とも一体的に形成されていることが好ましい。

また、このようなバネ板は、連結板が構成部材として使用されている本発明に係る全ての双頭型質量センサに適用されるものであることはいうまでもない。また、上述した双頭型質量センサ 55・60 の使用方法は、双頭型質量センサ 25 等と同様であるが、抗体等の捕捉物質を各振動板 21A・21B 等に塗布する際には、バネ板 47 や補強板 49 にも抗体等を塗布してよい。

次に、図 14 に示した双頭型質量センサ 40C は、図 2 (a) に示した双頭型質量センサ 40A における各連結板 22A・22B の長手方向中央部にスリット 76 を設けた実施形態を示したものである。スリット 76 は空洞であり、各振動板 21A・21B の θ モード、φ モードでの振動を起こり易くし、共振周波数の認識を容易にする機能を有する。また、各連結板 22A・22B の質量を減少させ、検出感度を向上させる機能をも有する。さらに、バネ板を設ける際に、バネ板をこのような空洞を有する形として連結板と一体化してもよい。

続いて、図 15 (a) は、図 2 (a) 記載の双頭型質量センサ 40A の形態を、センサ基板 27 の貫通孔 87 に形成した実施形態である双頭型質量センサ 40D の平面図を示しており、図 15 (b) は、図 15 (a) 中の破線 AA における断面図を示している。双頭型質量センサ 40D においては、主素子 44 のみが配設されており、主素子 44 には電極リード 85・86 が接続されている。そして主素子 44 および電極リード 85・86 を覆うように絶縁コーティング層 77 が形成されている。この絶縁コーティング層 77 により、双頭型質量センサ 40D の共振部を導電性の検体に浸漬させた場合であっても、主素子 44 および電極リード 85・86 の短絡が防止される。

また、双頭型質量センサ 40D には、絶縁コーティング層 77 を覆うように、導電性部材からなるシールド層 78 が形成されており、シールド層 78 はスルーホール 84 を通じてセンサ基板 27 の両面に形成されている。0.1 ng オーダ

一の微小質量を検出する場合においては、外部からの電磁波を遮断し、共振周波数の判定誤差を小さくする上で、センサ基板27から計測器への配線はもちろんのこと、センサ基板27上の配線部分（主素子44、電極リード85・86）についてもシールドすることが好ましい。

シールド層78の配設の形態としては、図15（b）に示されるように、センサ基板27を挟み込むように形成する形態の他、図15（c）の断面図に示されるように、センサ基板27上の配線部分のみを囲う形態や、図15（d）に示すように、配線部分を上部片側のみでシールドする形態が挙げられるが、中でも、図15（b）、（c）に示すような配線部分全体をシールドする形態が好ましい。なお、図15（a）においては、スルーホール84を用いてセンサ基板27の各面に形成されたシールド層78が導通しているが、センサ基板27の側面を利用して、この導通を図ってもよい。これら、絶縁コーティング層77およびシールド層78の形成に好適に用いられる材料の詳細については、双頭型質量センサに使用される材料について後述する際、併せて説明することとする。

さて、次に、本発明による双頭型質量センサは、図1～3や図11（a）、図14等に示したように、Y軸について対称な形状を有しなければならないものではなく、図16の平面図に示した双頭型質量センサ65のように、形状の異なる第一振動板51Aと第二振動板51Bに、それぞれ異なる形状を有する第一連結板52Aと第二連結板52Bを接合して、互いに検出感度を異ならしめることも可能である。なお、このように各振動板51A・51Bや各連結板52A・52B等の形状を異ならしめることは、双頭型質量センサ25等・55・60に適用することができることはもちろん、後述する双頭型質量センサ70・75A・75Bについても適用することができることはいうまでもない。

こうして双頭型質量センサ65のような構造とすることにより、各振動板51A・51Bに基づくダイナミックレンジに差が生ずるため、双頭型質量センサ65全体としての総合ダイナミックレンジを大きくとることが可能となる。したがって、第二検出板41Bの高さH<sub>z1</sub>と第三検出板41Cの高さH<sub>z2</sub>は必ずしも同じでなくともよく、第二検出板41Bの幅W<sub>x1</sub>と第三検出板41Cの幅W<sub>x2</sub>もまた必ずしも同じとする必要はない。なお、双頭型質量センサ65の使用方法等は、

双頭型質量センサ 25 等と同様である。

ところで、特許協力条約による国際特許出願 J P 97/01094 には、図 24 および図 25 に示されるような、上述した本発明の双頭型質量センサに外観上類似した構造を有する種々の振動ジャイロ・センサ（以下、「ジャイロ」という）が開示されている。

図 24 のジャイロにあっては、2 つの振動子 2 がそれぞれの基端側において支台 4 に連結され、また、支台 4 に接近した部位が薄肉とされて、振動子 2 の配列方向に正面（平板面）が延びる検出部たる第 1 の板状部 6 が形成されている。また、各振動子 2 の基端側部位は、振動子 2 の幅よりも細幅とされた、第 1 の板状部 6 に対して垂直な方向に延びる正面を有する薄肉の第 2 の板状部 8 とされ、各振動子 2 は、この第 2 の板状部 8 を介して支台 4 に連結されている。さらに、各振動子 2 は、それぞれの第 1 の板状部 6 と第 2 の板状部 8 との間の部位において、第 1 の板状部 6 の正面に平行な正面を有する振動子 2 よりも薄肉の第 3 の板状部 10 にて連結されている。

なお、これら振動子 2 等の各部材は、セラミックスの一体焼成体にて構成され、第 1 の板状部 6 上には検出用の圧電／電歪素子 12 が、第 3 の板状部 10 上には駆動用の圧電／電歪素子 14 がそれぞれ形成されている。また、各振動子 2 に設けられた除切部 16 は、トリミング加工等により振動子 2 の共振周波数を調整するためのものであり、支台 4 をスペーサ部 18 により振動子 2 よりも厚くすることで、ボルト 20 により支台 4 を基板等の平坦な取付面に取り付けた場合にも、振動子 2 がその取付面に対して干渉されることのない構造となっている。

このような構造を有するジャイロにあっては、圧電／電歪素子 14 の駆動によって、第 3 の板状部 10 が変形を受けることにより、各振動子 2 が、X 軸方向において近接離隔する方向に振動せしめられる。この状態において、各振動子 2 に対して Z 軸周りの回転力が作用すると、Z 軸周りの角速度に基づいて、各振動子 2 には Y 軸方向へコリオリ力が作用し、このコリオリ力にて各振動子 2 は、Y 軸方向に互いに逆向きに振動するようになる。この振動子 2 の曲げ振動が、検出用の圧電／電歪素子 12 により、起電力として検出される。

したがって、ジャイロにおいては、検出精度、検出感度を高めるために、コリ

オリ力が大きく発生するように各部位の形状が設定される。そのためには、振動子2は質量が大きい方がよく、したがって厚肉に設計されている。また、振動子2は、使用中にその質量が変化するものであってはならない。振動子2において質量が変化すると、同じ大きさの回転力が振動子2に作用した場合であっても、生ずるコリオリ力に差が生じることで、検出結果が異なるものとなり、正確な測定ができなくなるからである。

さらに、生じたコリオリ力を効率的に検出するために、検出用の圧電／電歪素子12は、振動子2を構成する第1の板状部6上に形成される必要がある。加えて、第2の板状部8は、Y軸方向に正面が延びる薄板とされていることで、X軸方向における剛性が低下せしめられており、その幅と高さの比を小さくして、感度を下げる要因となるY軸方向の振動を抑制するように設計され、しかも、第3の板状部10と支台4との間には、隙間部が設けられており、振動子がX軸方向に振動しやすい構造がとられている。

これに対し、図25に示されるジャイロにあっては、薄肉に形成された第1の板状部6上のほぼ全面を覆うように、検出用の圧電／電歪素子12が設けられ、第1の板状部6が振動子2となっているが、その他の部材の構成は図24に示したジャイロと同等である。このような幅広で長尺の第1の板状部6による振動子2では、質量およびモーメントが大きくなり、結果的に、圧電／電歪素子14による駆動によって、振幅が大きくなるため、感度を向上させることができる。また、圧電／電歪素子12の面積が広いために、多くの電荷を蓄積することが可能となり、電流検出方式を用いた使用に有利になるといった利点がある。

これら上述したジャイロに対し、本発明の双頭型質量センサは、微小質量の検出を主な目的としていることから、ジャイロの振動子に相当する振動板は、その重量ができるだけ小さい方がよいために、薄板状に形成される必要があり、しかも、振動板上に圧電素子を配設すること、特に検出用の圧電素子を配設することは、上述した測定原理から好ましくないことは明らかである。また、振動板は、その質量が測定中に変化しなければならない点、およびコリオリ力が作用しないような環境下で使用しなければならないといった使用方法は、ジャイロの場合とは正反対である。

さらに、上記ジャイロと同様に、双頭型質量センサにおいて検出板とセンサ基板の間に隙部を設けることは可能であるが、この場合には、主素子に加わる応力が低減されるために検出感度が悪くなるため、原則として、双頭型質量センサにおいては、このような隙部は設けない方が好ましい。また、ジャイロの第2の板状部8に相当する双頭型質量センサの連結板およびバネ板について、ジャイロで要求されるような薄板構造、すなわち、板状部8のX方向長さがY方向長さに対して非常に短い構造とすることは、たとえば、液体中での使用において振動振幅の減衰を大きくする点で好ましくない。

加えて、ジャイロにおいては、検出用と駆動用の圧電素子をそれぞれ分けて配設する必要があるのに対し、双頭型質量センサの主素子は、基本的にそれ自体が検出用と駆動用の両方の機能を果たすように使用するものであり、主素子を分割して駆動用（励振用）と検出用（受振用）に用いるのは、あくまでS/N比の向上を図るための一手段にすぎない。また、双頭型質量センサにおいては、共振周波数の測定方法もジャイロにおいて用いられる曲げモード以外に、θモードやφモード、軸回転モードといった種々のモードを用いて測定を行うことができる点でも相違している。

このように、ジャイロと双頭型質量センサとでは、一見して類似するように見える構造にも、その目的を達成するための種々の基本的な相違があるとともに、その使用方法、使用態様も全く異なるものであることは明らかであろう。また、双頭型質量センサ60のように、連結板21A・21Bの両面にバネ板を設ける構造、および双頭型質量センサ65のように、さらに補強板を用いて、θモードの振動モードを支配的とする双頭型質量センサの実施形態は、JP97/01094には、開示あるいは示唆されていない。

さて、続いて、本発明の第三の双頭型質量センサ70の一実施形態を示す平面図を図17に示す。第一振動板53Aが第一連結板54Aと第二連結板54Bに挟持され、第二振動板53Bが第三連結板54Cと第四連結板54Dに挟持されるように、各板が互いの側面において接合されている。そして、第一検出板56Aが第一連結板54Aと第三連結板54Cとの間に、また、第二検出板56Bが第二連結板54Bと第四連結板54Dとの間に、それぞれ跨設され、第一検出板

56Aの少なくとも一方の平板面に第一主素子57Aが、第二検出板56Bの少なくとも一方の平板面に第二主素子57Bがそれぞれ配設されて、各振動板53A・53Bと各連結板54A～54Dと各検出板56A・56Bおよび各主素子57A・57Bから共振部が形成されている。こうして形成された共振部が、間隙部を挟んで対向する側面を有するセンサ基板58の側面に跨設されて、双頭型質量センサ70が形成されている。

なお、双頭型質量センサ70においては、第一連結板54Aと第二連結板54Bが第一振動板53Aを挟持する方向であるY1軸と、第三連結板54Cと第四連結板54Dが第二振動板53Bを挟持する方向であるY2軸、および第一検出板56Aと第二検出板56Bのそれぞれの平板面を2等分する分割線であるY軸の伸長方向が互いに平行となっており、この分割線たるY軸に直交するとともに第一振動板53Aと第二振動板53Bのそれぞれの中心を通る直線であるX軸、および分割線たるY軸の両方の線(X軸、Y軸)について対称な形状を有する共振部が形成されている。

双頭型質量センサ70においても、双頭型質量センサ25等と同様に、各主素子57A・57Bをそれぞれ分割素子59A・59Bおよび61A・61Bに分割して、各振動板53A・53B側のものを駆動用、センサ基板58側のものを検出用に使用することが好ましく、各主素子57A・57Bは、各検出板56A・56Bの両平板面に配設してもよい。また、図11に示した双頭型質量センサ55と同様に、各連結板54A～54Dにはバネ板および必要に応じてバネ板補強部を取り付けて各連結板54A～54Dの剛性を高めることも好ましい。

図18(a)は、第四の双頭型質量センサ75Aの一実施形態を示す平面図である。第一振動板53Aが第一連結板54Aと第二連結板54Bに挟持され、第二振動板53Bが第三連結板54Cと第四連結板54Dに挟持されるように、各板が互いの側面において接合されている。そして、第一連結板54Aが第一検出板56Aと第三検出板56Cとの間に、第三連結板54Cが第一検出板56Aと第四検出板56Dとの間に、第二連結板54Bが第二検出板56Bと第五検出板56Eとの間に、第四連結板54Dが第二検出板56Bと第六検出板56Fとの間にそれぞれ位置するように、各板が側面において接合されている。さらに、第

一検出板 5 6 A の少なくとも一方の平板面に第一主素子 5 7 A が、第二検出板 5 6 B の少なくとも一方の平板面に第二主素子 5 7 B が、それぞれ配設され、各振動板 5 3 A・5 3 B と各連結板 5 4 A～5 4 D と各検出板 5 6 A～5 6 F および各主素子 5 7 A・5 7 B から共振部が形成されている。この共振部が間隙部を挟んで対向する側面を有するセンサ基板 5 8 の側面に跨設されて、双頭型質量センサ 7 5 A が構成されている。

なお、双頭型質量センサ 7 5 A においては、第一連結板 5 4 A と第二連結板 5 4 B が第一振動板 5 3 A を挟持する方向である Y 1 軸と、第三連結板 5 4 C と第四連結板 5 4 D が第二振動板 5 3 B を挟持する方向である Y 2 軸、および第一検出板 5 6 A と第二検出板 5 6 B のそれぞれの平板面を 2 等分する分割線である Y 軸が互いに平行であって、第一振動板 5 3 A と第二振動板 5 3 B のそれぞれの中心を通り Y 軸に直交する X 軸、および Y 軸の両方について対称な形状を有する共振部が形成されている。

双頭型質量センサ 7 5 A は、前述した双頭型質量センサ 7 0 と同様に、各主素子 5 7 A・5 7 B は、分割素子 5 9 A・5 9 B および 6 1 A・6 1 B とすることが好ましい。さらに、双頭型質量センサ 4 0 A と同様に、副素子 4 2 A・4 2 B と同様の副素子 6 2 A・6 2 B・6 2 C・6 2 D をそれぞれ第三検出板 5 6 C、第四検出板 5 6 D、第五検出板 5 6 E、第六検出板 5 6 F に配設することが好ましい。

上述した双頭型質量センサ 7 0・7 5 A の構造は、簡単には、二枚の振動板のそれぞれが、連結板に挟持されるように互いの側面において接合され、素子を配した検出板が、その連結板の間に跨設され、もしくはその連結板を挟持するように配設され、センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、連結板および検出板が接合されるように跨設してなる、と表すことができる。

このような構造を有する双頭型質量センサ 7 0・7 5 A の使用用途は、上述した双頭型質量センサ 2 5 等と同様であり、各振動板 5 3 A・5 3 B の振動モードについても同様である。しかし、本構造においては、加えて第一振動板 5 3 A を例にとると、図 17 および図 18 (a) 中に示されるように、第一振動板 5 3 A が、第一振動板 5 3 A の中心を中心として第一振動板 5 3 A の平板面内において

回転反復振動する  $\eta$  モードの平面回転振動、および矢印 K で表されるように、Y 軸に直交する X 軸方向に第一振動板 53A の平板面内での往復振動が支配的となる一軸モードの往復振動が用いられる。なお、 $\eta$  モードの平面回転振動や一軸モードの往復振動とは一般的な名称ではなく、本発明において、各種の振動モードをそれぞれ区別するために定義して用いているものであり、前述した  $\theta$  モード、 $\phi$  モード等についても同様である。

特に、この X 軸方向での一軸モードでの共振を利用すると、質量変化の起こった位置、たとえば抗原が各振動板 53A・53B に付着して質量が増加した場合にはこの抗原の付着位置による感度差が特に少ないという利点がある。また、 $\eta$  モードを用いる場合には、各主素子 57A・57B の分極方向を互いに逆とする。

また、双頭型質量センサ 70・75A は、各振動板 53A・53B を上下両方向の各連結板 54A～54D、および必要に応じてバネ板を貼合して支えるため、共振周波数を上げることができ、高感度化を図ることができる。また、双頭型質量センサ 25 等よりも大きな面積の各振動板 53A・53B を用いても共振周波数が高くとれ、単位質量当たりの変化にともなう共振周波数のシフト量が増加し、判定がし易くなる利点がある。さらに、双頭型質量センサ 75A において、副素子 62A～62D を配設した場合には、前述した  $\eta$  モードを用いて共振周波数の測定を行うと、Q 値を大きくとることが可能となる。もちろん、各副素子 62A～62D をさらに、各主素子 57A・57B と同様に分割素子として配設することもまた、好ましい。なお、双頭型質量センサ 75A においては、各連結板 54A～54D を同形状としているが、一枚の振動板を挟持する連結板の幅を異ならしめる、例えば、図 18 (b) に示すように、第一連結板 54A の幅を狭くし、第二連結板 54B の幅を広く設定することで、 $\theta$  モードにおける測定感度を高めた双頭型質量センサ 75B とすることが可能となる。

次に、上述した本発明による全ての双頭型質量センサを構成する各部材について説明する。振動板、連結板、検出板、バネ板、バネ板補強部、補強板ならびにセンサ基板といった部材は、好適にはセラミックからなることが好ましく、具体的には、安定化もしくは部分安定化されたジルコニア、アルミナ、マグネシア、窒化珪素等を用いることができる。このうち、薄板においても機械的強度が大き

いこと、韌性が高いこと、圧電膜や電極材との反応性が小さいことから、安定化もしくは部分安定化ジルコニアが最も好適に採用される。なお、センサ基板の材料等として、安定化もしくは部分安定化ジルコニアを使用する場合には、少なくとも、検出板にアルミナあるいはチタニア等の添加物を含有させて構成するとさらに好ましい。

振動板、連結板、検出板および必要に応じて配設されるバネ板やバネ板補強部、補強板のそれぞれについては、必ずしも同一の材料から構成される必要はなく、設計に応じて前述した各種セラミック材料を組み合わせて用いることが可能である。しかし、同一の材料系のものを用いて一体的に形成することが、各接合部の信頼性の確保や製造工程の簡略化等の見地から好ましい。したがって、これらの部材はセンサ基板とも一体的に形成されることが好ましい。

このような一体構造を有する双頭型質量センサを得るために、後述する双頭型質量センサの製造方法に示すように、振動板と連結板および検出板が、1枚の振動プレートからの打抜き加工等により一体的に形成され、センサ基板が、この振動プレートとベースプレートを積層して一体的に形成されていることが好ましい。

また、連結板に貼合されるバネ板を形成する場合には、振動プレートとベースプレートとの間に中間プレートを挟み込んで一体化して形成されるセンサ基板中の元の中間プレートからバネ板が形成されるようにすることが好ましい。こうして、センサ基板とバネ板は一体的に形成され、かつ、バネ板と連結板もまた一体的に形成することができる。さらに、バネ板補強部もまた、振動プレートと一体的に形成され、補強板はベースプレートを複数の薄いプレートを積層し、そのうちの1枚から数枚がバネ板と貼合されるようにすることでセンサ基板と一体的に形成することが可能である。すなわち、その部位間の接合においても接着剤等を使用することなく一体化でき、機械的に信頼性が高く、温度特性に優れたものとなる。

なお、本発明の双頭型質量センサは、微小な質量変化の検出を主な目的としているが、このためには、振動板の厚みは3～20 $\mu\text{m}$ 程度とすることが好ましく、特に、0.1ナノグラム(n g)オーダーの質量変化の検出には、5～15 $\mu\text{m}$

程度とすることが好ましい。連結板自体がバネ板として機能することから、バネ板は必ずしも必要ではないが、バネ板を設ける場合にはその連結板厚みを3～100μmとし、ベースプレートの厚みは操作性を考慮し、適宜決められる。なお、バネ板を設けない場合には、中間プレートを設けなくともよいこととなるが、センサ基板の機械的強度を保つために、中間プレートの厚み分ほどベースプレートを厚くするとよい。

但し、バネ板を連結板の両平板面に形成する場合には、圧電素子が形成される面側に形成されるバネ板については、圧電素子と同じ構造を有するものをバネ板として形成して用いることもできる。この場合には、バネ板を圧電素子と同時に形成することができるので、製造工程上、好ましい。しかし、バネ板として形成された圧電素子については、圧電素子を構成する電極は、電極としては用いない。

バネ板を配設する場合には、連結板の片面あるいは両面に貼合するいずれの場合であっても、その厚さは10～220μm、幅100～500μmが好適であり、バネ板のアスペクト比（幅／厚み）は、0.4～5.0の範囲とすることが好ましい。さらに、液体中での双頭型質量センサの使用による振動振幅の減衰を考慮すると、厚みが10～70μmで幅が100～500μm、アスペクト比が1.4～5.0とすることが好ましい。さらに好ましくは、厚みは10～70μm、幅が100～300μm、アスペクト比が1.4～3.0が好適な設定範囲である。なお、バネ板補強部を必要とする場合のバネ板補強部の厚さは、そのバネ板補強部に接合されるバネ板の厚さと同じとすることが好ましく、また、このような厚さ範囲にあるバネ板の配設にあっても、前述したバネ板と振動板等との質量比の範囲内とすることが好ましいことはいうまでもない。

次に、主・副素子として用いられる圧電素子における圧電膜としては、膜状に形成された圧電セラミックスが好適に用いられるが、電歪セラミックスあるいは強誘電体セラミックスであってもよい。また、分極処理が必要な材料、必要でない材料のいずれであってもよい。

圧電膜に用いるセラミックスとしては、たとえば、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンスズ酸鉛、マンガンタンクステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、

チタン酸バリウム等を単独で、あるいは、これらのいずれかを組み合わせた成分を含有するセラミックスが挙げられるが、本発明においては、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛およびマグネシウムニオブ酸鉛からなる成分を主成分とする材料が好適に用いられる。これは、このような材料が高い電気機械結合係数と圧電定数を有することに加え、後述する圧電膜の焼結時におけるセンサ基板部材との反応性が小さく、所定の組成のものを安定に形成できることによる。

さらに、上記圧電セラミックスに、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン、セリウム、カドミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、リチウム、ビスマス、スズ等の酸化物、もしくはこれらいずれかの組み合わせ、または他の化合物を適宜、添加したセラミックスを用いてもよい。たとえば、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛およびマグネシウムニオブ酸鉛を主成分とし、これにランタンやストロンチウムを含有するセラミックスを用いることもまた好ましく、さらに、マンガンを加えたものは圧電材料の機械的品質係数が大きく、センサの構造面からだけでなく、材料面からもQ値を大きくすることができ、好ましい。

一方、圧電素子における第一電極および第二電極は、室温で固体である導電性の金属で構成されていることが好ましく、たとえば、アルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、パラジウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タングステン、イリジウム、白金、金、鉛等の金属単体あるいはこれらのいずれかを組み合わせた合金が用いられ、さらに、これらに圧電膜あるいは検出板と同じ材料を分散させたサーメット材料を用いてもよい。なお、これらの金属材料は、位置センサ用の電極材料としても使用することができる。

実際の第一電極および第二電極の材料選定は、圧電膜の形成方法に依存して決定される。たとえば、検出板上に第一電極を形成した後、第一電極上に圧電膜を焼成により形成する場合には、第一電極は圧電膜の焼成温度においても変化しない白金等の高融点金属を使用する必要があるが、圧電膜を焼成した後に圧電膜上に形成される第二電極は、低温で電極形成を行うことができるので、アルミニウ

ム等の低融点金属を使用することができる。

また、圧電素子を一体焼成して形成することもできるが、この場合には、第一電極および第二電極の両方を圧電膜の焼成温度に耐える高融点金属としなければならない。一方、図5に示したように、圧電膜96上に第一・第二電極97・98を形成する場合には、双方を同じ低融点金属を用いて形成することができる。このように、第一電極および第二電極は、圧電膜の焼成温度に代表される圧電膜の形成温度と圧電素子の構造に依存して、適宜、好適なものを選択すればよい。

なお、圧電素子の面積を広げると出力電荷が増加するために感度が上がるが、センササイズが大きくなる問題が生ずるため、適宜、好適な形状に設定することが好ましい。また、圧電素子の厚みを薄くすると感度が向上するが、その一方で、剛性が低下するといった問題が生ずるため、好ましくは、検出板と圧電素子との厚みの合計は15～50μmに設定される。

続いて、図15に示した双頭型質量センサ40Dのように、主素子や副素子、ならびに電極リード上に、絶縁コーティング層を形成する場合には、その材料として、絶縁性のガラスもしくは樹脂が用いられるが、双頭型質量センサの性能を上げるためにには、絶縁コーティング材としてガラスよりも樹脂を用いることが好ましく、化学的安定性に優れたフッ素樹脂、例えば、四フッ化エチレン樹脂系テフロン（デュポン（株）製のテフロンPTFE）、四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合体樹脂系テフロン（テフロンFEP）、四フッ化エチレン・パーフロロアルキルビニルエーテル共重合体樹脂系テフロン（テフロンPFA）、PTFE/PFA複合テフロン等が好適に用いられる。また、これらのフッ素樹脂よりも耐食性、耐候性等に劣るが、シリコーン樹脂（中でも熱硬化型のシリコーン樹脂）も好適に用いられる他、エポキシ樹脂、アクリル樹脂等も目的に応じて使用することができる。さらに、絶縁性樹脂に無機・有機充填材を添加し、共振部の剛性を調整することも好ましい。

絶縁コーティング層を形成した場合に、絶縁コーティング層上に形成されるシールド層の材料としては、金、銀、銅、ニッケル、アルミニウム等の種々の金属が好適に用いられるが、他にも上述した圧電素子における第一電極等に用いられる全ての金属材料を用いることができる。また、金属粉末を樹脂と混合してなる

導電性ペーストを用いることもできる。なお、主素子や副素子ならびにその近傍と、電極リードならびにその近傍とで、それぞれ異なる材料を用いて絶縁コーティング層を形成することも好ましい。

次に、双頭型質量センサの作製方法について、図11 (e) に示した断面形状を有する双頭型質量センサ55、すなわち、図2 (a) 記載の双頭型質量センサ40Aにおいて、各連結板22A・22Bの片面にのみバネ板47を配設した構造のものを例に説明する。センサ基板27の材料としてはジルコニア等のセラミックスが好適に使用され、セラミックス粉末にバインダ、溶剤、分散剤等を添加混合してスラリーを作製し、これを脱泡処理後、リバースロールコーティング法、ドクターブレード法等の方法により所定の厚みを有する振動プレート用、中間プレート用およびベースプレート用のそれぞれのグリーンシートあるいはグリーンテープを作製する。

続いて、それぞれのグリーンシート等を金型あるいはレーザ等を用いて、たとえば、図19に示すように、中間プレート64には貫通孔67とバネ板68が形成され、ベースプレート66には貫通孔67が形成されるように所定形状に打ち抜き加工し、作製した振動プレート63と中間プレート64およびベースプレート66用グリーンシートをこれらの順序で少なくとも各1枚ずつ積層、熱圧着し、焼成により一体化してセンサ基板27を作製する。

なお、振動プレート63を2枚の中間プレート64で挟み、さらに、これを2枚のベースプレート66で挟むことによって、図11 (b) に示されたような振動プレート63がセンサ基板の中央部に形成されるようにすることも可能である。また、センサ基板27中に、二箇所の貫通孔67を設けて、各貫通孔67に共振部を形成すると、一方を測定用のセンサ、他方を参照用のセンサとして用いることが容易となる。

ここで、これらのグリーンシート等の積層を行うに際して、積層位置決めのために各グリーンシートには孔部69が形成されている。また、センサ基板27には、ベースプレート66の形状の通り、四角平板型の内部を打ち抜いた外枠を用いているが、後に切削加工等して双頭型質量センサ55の共振部を嵌合させるような凹部を有するセンサ基板27とすることが可能であり、このままの形状にと

どめて、センサ基板27内部に各振動板21A・21B等が形成した構造としても構わない。さらに、振動プレート63についても、貫通孔67や各振動板21A・21B等となる部分をグリーンの状態で形成することは可能であるが、一般に振動プレート63は20μm以下と薄いために、振動プレート63内に形成する各振動板21A・21Bと各連結板22A・22Bおよび各検出板41A・41B・41Cの焼結後の平坦性、寸法精度等を確保するためには、後述するレーザ加工等でセンサ基板27および主・副素子44・42A・42B形成後に所定形状を形成することが好ましい。

振動プレート63上の各検出板41A・41B・41Cが形成される部分に第一電極、圧電膜、第二電極からなる主・副素子44・42A・42Bたる圧電素子を形成する方法としては、金型を用いたプレス成形法またはスラリー原料を用いたテープ成形法等によって圧電膜を成形し、この焼成前の圧電膜を振動プレート63上の各検出板41A・41B・41Cが形成される部分に熱圧着で積層し、同時に焼結してセンサ基板27と圧電素子とを形成する方法がある。但し、この場合には、電極は後述する膜形成法により、センサ基板27あるいは圧電膜に予め形成しておく必要がある。

圧電膜の焼成温度は、これを構成する材料によって適宜定められるが、一般には、800°C～1400°Cであり、好ましくは1000°C～1400°Cである。この場合、圧電膜の組成を制御するために、圧電膜材料の蒸発源の存在下に焼結することが好ましい。なお、圧電膜の焼成と各プレート63～65の焼成を同時に行う場合には、両者の焼成条件をマッチングすることが必要となる。

一方、膜形成法を用いる場合には、振動プレート63上の各検出板41A・41B・41Cの形成位置に、スクリーン印刷法、ディッピング法、塗布法等の厚膜形成法、イオンビーム法、スパッタリング法、真空蒸着、イオンプレーティング法、化学気相蒸着法(CVD)、メッキ等の各種薄膜形成法により、圧電素子を形成することができる。このうち、本発明においては、圧電膜を形成するにあたり、スクリーン印刷法やディッピング法、塗布法等による厚膜形成法が好適に採用される。これは、これらの手法は、平均粒径0.01～5μm、好ましくは0.05～3μmの圧電セラミックスの粒子を主成分とするペーストやスラリー

を用いて圧電膜を容易に形成することができ、良好な圧電作動特性が得られるからである。

たとえば、作製したセンサ基板27を所定条件にて焼成した後、振動プレート63の表面の所定位置に第一電極を印刷、焼成し、次いで圧電膜を印刷、焼成し、さらに、第二電極を印刷、焼成して圧電素子を形成する。そして、形成された各電極を測定装置に接続するための電極リードを印刷、焼成する。ここで、たとえば、第一電極として白金(Pt)を、圧電膜としてはジルコン酸チタン酸鉛(PZT)を、第二電極としては金(Au)を、さらに電極リードとして銀(Ag)等の材料を使用すると、焼成工程における焼成温度が順次低くなるように設定されるので、ある焼成段階において、それより以前に焼成された材料の再焼結等が起り難く、電極材等の剥離や凝集といった不具合の発生を回避することが可能となる。

なお、適当な材料を選択することにより、圧電素子を構成する各部材と電極リードを逐次印刷して、一回で一体焼成することも可能であり、圧電膜を形成した後に低温で各電極等を設けることもできる。また、圧電素子を構成する各部材と電極リードはスパッタ法や蒸着法等の薄膜法によって形成してもかまわず、この場合には、必ずしも熱処理を必要としない。さらに、電極リードの形成の際に、位置センサ用の電極を同時に形成することができる。

こうして圧電素子を膜形成法によって形成することにより、接着剤を用いることなく圧電素子と各検出板41A・41B・41Cとを一体的に接合することができるため、信頼性、再現性に優れ、集積化が容易となる。ここで、さらに圧電膜を適当なパターンに形成してもよく、その形成方法としては、たとえば、スクリーン印刷法やフォトリソグラフィー法、あるいはレーザ加工法、スライシング、超音波加工等の機械加工法を用いることができる。

次に、作製されたセンサ基板27の所定位置に各振動板21A・21B等を形成する。ここで、YAGレーザの第4次高調波を用いた加工により、焼結された振動プレート63を切り出し加工して除去することが好ましい。こうして、図2に示される各振動板21A・21Bや各検出板41A・41B・41Cといったセンサ基板27と一体的に接合される部位を残しながら貫通孔67を形成するこ

とができ、このとき、各振動板 21A・21B 等の形状を調整することで、所定の共振周波数に調整し、検出できる質量変化の範囲を定めることができとなる。

ここで、図 20 に示されるように、各振動板 21A・21B の長さを  $L_0$  から  $L_1$  へ短くするように各振動板 21A・21B の一部を切削、削除すると、共振点を高くすることができ、一方、各連結板 22A・22B (およびバネ板) の幅を  $t_0$  から  $t_1$  へ狭くすると、共振点を下げることが可能となり、これらの組み合わせにより共振点の調整を行うことができる。さらに、各振動板 21A・21B の幅を  $W_0$  から  $W_1$  へ狭めることにより、回転モードを抑制し、θモードのQ値を大きくすること、および質量変化が同じ場合でも質量変化の起こった位置による共振周波数の変動差を小さくすることが可能となる。

さらに、図 4 に示した積層型の圧電素子を設けた場合には、図 21 に示すように、第一電極 90 を下部電極、第二電極 92 を上部電極として、その中間に圧電膜 91 を形成した圧電素子を一度形成した後、上部電極を YAG 第 4 次高調波レーザ、機械加工等により除去して圧電素子の有効電極面積を調整して、検出感度の調整を行うことが好ましい。なお、圧電素子の構造が、図 6 あるいは図 7 に示されるような櫛型構造である場合には、一方のあるいは両方の電極の一部を除去すればよい。

こうしたセンサ部の加工においては、上記の YAG 第 4 次高調波レーザを用いた加工以外にも、YAG レーザおよび YAG レーザの第 2 次または第 3 次高調波、エキシマレーザ、CO<sub>2</sub> レーザ等によるレーザ加工、電子ビーム加工、ダイシング加工 (機械加工) など、センサ部の大きさと形状に適した種々の加工方法を適用することができる。

また、センサ基板 27 は、上述したグリーンシートを用いた作製方法の他に、成形型を用いた加圧成形法や鋳込成形法、射出成形法等を用いて作製することができる。これらの場合においても、焼成前後において、切削や研削加工、レーザ加工、プレス加工による打ち抜き、あるいは超音波加工等の機械加工により加工が施され、所定形状の双頭型質量センサ 55 が得られる。

こうして作製された双頭型質量センサ 55 における主・副素子 44・42A・42B ならびに電極リード上に、図 19 に示した双頭型質量センサ 40D のよう

に絶縁コーティング層77を形成する場合には、ガラスもしくは樹脂を用いて、スクリーン印刷法、塗布法、スプレー法等によって形成することができる。ここで、材料としてガラスを用いる場合には、双頭型質量センサ55自体をガラスの軟化温度程度まで昇温する必要があり、また硬度が大きいので振動を阻害するおそれがあるが、樹脂は柔らかく、しかも乾燥程度の処理で済むことから、樹脂を用いることが好ましい。なお、絶縁コーティング層77として用いられる樹脂として、フッ素樹脂あるいはシリコーン樹脂が好適に用いられる旨は既に述べたが、これらの樹脂を用いる場合には、下地のセラミックスとの密着性を改善する目的で、使用する樹脂とセラミックスとの種類に応じたプライマー層を形成し、その上に絶縁コーティング層77を形成することが好ましい。

次に、絶縁コーティング層77上に形成されるシールド層78の形成は、絶縁コーティング層77が樹脂からなる場合には、焼成処理を行うことが困難なため、種々の金属材料を用いる場合には、スパッタ法等の加熱を要しない方法を用いて行われ、一方、金属粉末と樹脂からなる導電性ペーストを用いる場合には、スクリーン印刷法、塗布法等を好適に用いることができる。なお、絶縁コーティング層77をガラスで形成した場合には、金属ペーストをスクリーン印刷等し、ガラスが流動しない温度以下で、焼成することも可能である。

最後に、主に、各振動板21A・21Bに抗体等の捕捉物質を塗布するなどして双頭型質量センサが完成するが、ここで、貫通孔67を複数設けて、その中の2つをそれぞれ測定用、参照用センサとしてセンサ基板27内に形成した場合には、これら2つのセンサをセンサ基板27の縦方向（上下方向）に配設する、つまり、検出用のセンサが先に液体等に浸漬され、参照用のセンサが液体等に浸漬されないような位置に配設すると、検出用のセンサの部分のみを捕捉物質に浸漬してその部分の振動板等に塗布する一方、参照用のセンサについては、テフロンコーティング等せずに温度補正センサ等のセンサとして使用し、捕捉物質には浸漬せず、捕捉物質を塗布しないように処理することが簡単に行え、好ましい。なお、双頭型質量センサにあっては、共振部がセンサ基板に少なくとも2箇所以上設けられ、1つの共振部における振動板には捕捉物質を塗布せずに参照用の共振部とすることが好ましく、他方、各共振部に種類の異なる捕捉物質を塗布する、

すなわち、1つのセンサ内に、2種類以上の異なる捕捉物質が別々に塗布された複数の共振部を設けることもまた好ましい。

こうして簡単に、検出用のセンサにのみ捕捉物質を塗布した双頭型質量センサを作製することができる。しかし、このような双頭型質量センサであっても、実際に質量測定にあたっては、検出用と参照用の各センサを同じ環境下におくことが必要である。また、本発明の双頭型質量センサにあっては、その全体を導電性の液体に浸漬して用いる場合には、配設された圧電素子と電極リードを絶縁コーティングしておく必要があることはいうまでもない。なお、上述したように、2つのセンサをそれぞれ検出用、参照用として用いる使用方法においては、参照用センサにおける共振部、すなわち、振動板と連結板、検出板、圧電素子、バネ板等にテフロンコーティングを行うと、場合によって参照センサ用への被検出体の付着を防止することができ、より高精度な測定が可能となる。また同様に、検出用センサにおいても、振動板以外にテフロンコーティングすることで、振動板上のみで被検出体を確実に捕らえることができ、高感度化が図れ、好ましい。さらに、高価な抗体等の捕捉物質を必要な箇所だけにつけるため、振動板を除くセンサ基板2全体へのコーティングをすると、コスト面で好ましい。

なお、同一の捕捉物質を各センサの各振動板に塗布して、各センサの信号を積算することで、ダイナミックレンジを大きくするような使用方法も可能である。さらに、参照用のセンサを参照用とせずに、検出用のセンサと異なる捕捉物質を塗布して使用することも可能である。

作製された双頭型質量センサにあっては、インピーダンスアナライザやネットワークアナライザでの測定や、S I N S W E E P 方式での伝達関数測定を用いて圧電素子（主・副素子44・42A・42B）からの電圧並びに電荷検出、共振周波数の測定を行うことにより、振動板における質量変化を測定することができる。また、主素子または副素子を分割したとき、駆動素子（励振素子）にはS I N S W E E P 波を与え、検出素子（受振素子）はスペクトルアナライザで出力電荷または出力電圧を検出する方法で共振周波数測定を行う。なお、本発明の双頭型質量センサは全て、上述した方法で作製することができ、また、共振周波数を測定できる。

続いて、本発明による双頭型質量センサの他の用途について説明する。まず、振動板に塗布する捕捉物質として、水分吸着材を用いた場合には、双頭型質量センサを水分計として使用することができる。また、振動板に捕捉物質として特定のガス成分や有機物質、無機物質を吸着する吸着材を塗布することにより、ガスセンサ、臭気センサ、味覚センサ等として使用することができる。さらに、振動板の温度を制御して結露させ、振動板の質量が増大したときの温度から露点を計測する露点計としても使用することができる。

また、双頭型質量センサは、膜厚計として使用することができる。対象となる膜には、真空中等で形成されるスパッタ膜やCVD膜、気体中で形成されるLB膜や液体中で形成される電着膜等が挙げられる。すなわち、これらの膜形成を行う際に、双頭型質量センサの振動板を同じ膜形成環境に置くと、振動板に膜が形成されることによって質量が変化し、共振周波数が変化するので、形成された膜厚や膜厚成長速度を計測することが可能となる。

従来、このような膜厚計としては、図22に示したものと同等の水晶振動子の膜厚変化時のすべり方向共振周波数の変化を検出する水晶蒸着膜厚計が知られているが、振動子自体を蒸着雰囲気中で使用するため、温度変化や不純物の衝突等によるノイズ、真空圧の変化の影響を大きく受けるという問題がある。

これに対し、蒸着膜厚計として双頭型質量センサをθモードあるいはκモードにより使用すると、検出板と主・副素子からなる検出部が剛体モードであるために温度変化に強く、また、振動板が3～20 μmと薄いために不純物が衝突する確率が小さくなるといった利点があり、さらに検出部とバネ板および連結板を一定雰囲気に保ち易い構造を探ることができるため、水晶振動子を用いた場合と比較して、測定精度の向上を図ることが可能となる。

さらに、双頭型質量センサでは、振動板を液体に浸漬させたときに、流体に横波のずれ波を引き起こして粘性波の進入長の部分の質量負荷を受ける粘性計としても使用することができる。

従来、このような粘性計としてもまた、水晶振動子のすべり方向共振周波数の変化を検出する水晶粘性計が用いられているが、水晶振動子自体を液体中に浸漬させるため、温度変化や液体中の不純物の衝突等のノイズの影響を受け易い欠点

がある。一方、粘性計として双頭型質量センサをθモードにより用いた場合には、検出部29とバネ板18および連結板20を液体に浸漬させる必要がなく、また、検出部29が剛体モードであるために温度変化に強く、振動板19が $3 \sim 20 \mu m$ と薄いために不純物が衝突する確率が小さくなることから、測定精度の向上が図られる。

さらにまた、水晶振動子は、真空中では気体分子の摩擦や気体の粘性摩擦により電気抵抗が変化するため、摩擦真空計として用いられるが、この真空計は結果的に水晶振動子の質量負荷効果による周波数変化を測定するものであるので、基本的な測定原理が同じである双頭型質量センサもまた、真空計として用いることができる。

水晶振動子を用いた摩擦真空計においては、図23に示すように、音叉型に形成した振動子79をX軸方向に振動させたときの抵抗値の変化を検出するものであるが、振動子79の厚み $d_1$ を薄くすることが困難であり、したがって、検出感度の向上が困難であるという問題がある。これに対し、双頭型質量センサにおいては、振動板の厚みを $3 \sim 20 \mu m$ とする薄膜化が容易であり、θモードあるいはηモードを利用することで、検出感度の向上を図ることが可能となる。

加えて、双頭型質量センサ25等・60・65の振動板の曲げモードを用いる、すなわち、曲げモード時のヤング率変化を共振周波数の変化として検出することにより、温度センサとしても使用することが可能である。

このように、本発明の双頭型質量センサは多種多様なセンサとして使用することができるが、その基本的な測定原理は、振動板への質量負荷に基づく共振部の共振周波数の変化を測定しているというものである。そのため、異なる機能を有するセンサを一つの双頭型質量センサ内に複数箇所設ける、すなわち、センサ基板中に複数の貫通孔を設け、各貫通孔に異なる機能を有するセンサを配設することが容易である。たとえば、温度センサや真空計、粘性センサとしての機能を双頭型質量センサへ組み込み、質量測定に対して温度補正や真密度または粘性補正を行うことが容易となる。このような場合、形状の異なる複数の各種用途別のセンサを集合させて用いる必要がないため、測定位置へのセンサの組み込み、取り

扱いや測定のための計測機器等の設備コスト等の点においても有利である。

以上、本発明の双頭型質量センサについて、共振部の振動を検出し、電気信号に変換する装置として、圧電作用を利用する圧電膜を用いた圧電変換装置を中心にして説明してきた。しかし、このような振動の信号変換装置は、圧電効果を利用するものには限定されず、電磁誘導を利用するもの、静電容量変化を利用するもの、光の入射変化を利用するもの、電気抵抗変化を利用するもの、焦電効果を利用するもの等で構成してもよい。

たとえば、電磁誘導を利用するものとしては、検出板に設けられるコイルと、このコイルに流れる電気信号を検出する電気回路と、このコイルに磁場を形成する磁石（電磁石であってもよい）とを有するものが挙げられる。この場合、共振部とともにコイルが振動する際に、電磁誘導によりコイルに電流が流れ、この電流を電気回路が検出する。また、静電容量変化を利用するものは、検出板の表面に設けた一対の電極と、この電極に挟まれた誘電体と、電極に接続する電子回路を有し、この特定の空間に荷電される静電容量を電子回路により検出するものが挙げられる。

光の入射変化を利用するものには、光ダイオード等の共振部に投光するデバイスと、共振部で反射した光量を測定するデバイス（受光部）とを有するものがある。この受光部には光センサ等を用いることができ、共振部が振動するにしたがって共振部で反射する光量が変化し、その受光部でその入射光量の変化が測定される。

また、電気抵抗変化を利用するものには、大きく分けて導体を使用するもの、半導体を使用するものが挙げられる。このうち、導体を使用するものは、共振部の表面に設けた導体と、この導体に接続する電気回路を有し、共振部とともに導体が振動する際に振動により導体が歪み、抵抗が変化するので、電気回路でこの抵抗変化を検出するものである。一方、半導体を使用するものは、この導体の代わりに半導体を用いたものである。

焦電作用を利用するものは、検出板の表面に設けた一対の電極とその間に形成された焦電体並びに電極に接続する電子回路および熱源からなり、振動による焦電流を電子回路により検出するものが挙げられる。

これらの振動の信号変換装置は、前述した圧電素子の代わりに設置される他、共振部の励振と受振とを異なる信号変換装置、たとえば、励振を圧電変換装置、受振を静電容量式変換装置で構成することも可能である。また、励振・受振装置の配置は、設けた検出板の数によっても適宜、好適な配置を選択することができ、たとえば、検出板が1枚の場合にはその平面内に、検出板を複数枚設けた場合には各検出板の両平面、あるいは各検出板に分けて励振・受振装置を配置させてもよい。

### 産業上の利用可能性

上述の通り、本発明の双頭型質量センサによれば、共振部中の特に振動板上で起こる種々の微小質量の変化、すなわち、振動板への質量負荷の変化を簡単に、高精度かつ正確に、しかも短時間で行うことができるという優れた効果を奏する。また、このような質量変化は、振動板に限らず共振部で生ずる質量変化によっても共振周波数が変化するため、用途によって適宜質量変化を起こすべき部位を調整することも可能である。したがって、種々の被検出体を捕捉する物質を共振部に塗布した場合には、多様な化学物質や細菌、ウィルス等の微生物の検出を行うガスセンサ、味覚センサ、臭気センサ、免疫センサ、水分計等として使用することができる。一方、このような捕捉物質を塗布しない場合においては、膜厚計、粘性計、真空計、温度計等として用いることが可能である。しかも、免疫センサあるいは臭気センサ、味覚センサとして使用した場合には、人間の感覚に依存して判断されることがないので、検査の信頼性を向上させることができる。

また、本発明の双頭型質量センサは、共振周波数の検出において、検体の温度や検体温度による双頭型質量センサ自体の材質の特性変化による変化の影響が小さく、その構成により、0.1ナノグラム (ng) の微小量まで測定することができる、微量物質の検出に効果を発揮する。

さらに、本発明の双頭型質量センサは、上述した多種多様な用途に使用することができるにもかかわらず、質量負荷を受ける振動板を含む共振部の共振周波数の変化を測定するという基本的な測定原理に基づいて測定が行われるため、異なる機能を有するセンサ部を一つの双頭型質量センサ内に複数設けることが容易に

- 48 -

行える特徴を有する。したがって、各種の別個の複数のセンサを用いる必要がないため、測定位置へのセンサの組み込み、取り扱いや測定のための計測機器等の設備コスト、さらには、製造設備の集約と共有による低コスト化が図れるといった極めて優れた効果を奏する。

## 請求の範囲

1. 第一振動板と互いの側面において接合された第一連結板と、第二振動板と互いの側面において接合された第二連結板との間に、少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に主素子が配設された第一検出板が、当該各連結板と当該各振動板との接合方向と垂直な方向において跨設されてなる共振部が、

少なくとも当該第一連結板と当該第二連結板の一部の側面をセンサ基板に接合してなることを特徴とする双頭型質量センサ。

2. 当該主素子が、当該第一検出板と当該各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の双頭型質量センサ。

3. 第一連結板は第一振動板と、第二連結板は第二振動板と、それぞれ互いの側面において接合され、

当該第一連結板が第一検出板と第二検出板との間に位置し、当該第二連結板が当該第一検出板と第三検出板との間に位置するようにして、それぞれ互いの側面において接合され、

当該第一検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に主素子が配設され、および／または当該第二検出板および当該第三検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部に副素子が配設されてなる共振部が、

センサ基板に、少なくとも当該各連結板の一部の側面を接合してなることを特徴とする双頭型質量センサ。

4. 当該主素子および／または当該副素子が、当該各検出板と当該各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されていることを特徴とする請求の範囲第3項記載の双頭型質量センサ。

5. 当該第一検出板の平板面を二等分し、かつ当該第一検出板の当該各連結板との接合方向に垂直な中心線の伸長方向が、当該第一連結板と当該第一振動板との接合方向および当該第二連結板と当該第二振動板との接合方向に平行であって、

当該共振部が、当該中心線について対称な形状を有することを特徴とする請求の範囲第1～4項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

6. 当該センサ基板上の、当該各振動板と当該主素子との中間位置に、一対の電

極からなる位置センサが設けられていることを特徴とする請求の範囲第1～5項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

7. 第一振動板が第一連結板と第二連結板に挟持され、第二振動板が第三連結板と第四連結板に挟持されるように、各板が互いの側面において接合され、

第一検出板が当該第一連結板と当該第三連結板との間に、また、第二検出板が当該第二連結板と当該第四連結板との間に、それぞれ跨設され、

当該各検出板の少なくとも一方の平板面上にそれぞれ主素子が配設されてなる共振部が、

センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、少なくとも当該各連結板の一部の側面が接合するように跨設されてなることを特徴とする双頭型質量センサ。

8. 当該主素子が、当該各検出板と当該各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されていることを特徴とする請求の範囲第7項記載の双頭型質量センサ。

9. 第一振動板が第一連結板と第二連結板に挟持され、第二振動板が第三連結板と第四連結板に挟持されるように、各板が互いの側面において接合され、

当該第一連結板が第一検出板と第三検出板との間に、当該第三連結板が当該第一検出板と第四検出板との間に、当該第二連結板が第二検出板と第五検出板との間に、当該第四連結板が当該第二検出板と第六検出板との間にそれぞれ位置するように、各板が互いの側面において接合され、

当該第一検出板および当該第二検出板の少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部にそれぞれ主素子が配設され、および／または当該第三検出板、当該第四検出板、当該第五検出板、当該第六検出板のうち1枚以上の検出板における少なくとも一方の平板面上の少なくとも一部にそれぞれ副素子が、配設されてなる共振部が、

センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、少なくとも当該各連結板の一部の側面が接合されるように跨設されてなることを特徴とする双頭型質量センサ。

10. 当該各主素子および／または当該各副素子が、当該各検出板と当該各連結板との接合方向に垂直な方向に分割されていることを特徴とする請求の範囲第9項記載の双頭型質量センサ。

11. 当該第一検出板の平板面を二等分し、かつ当該第一検出板の当該第一連結

板並びに当該第三連結板との接合方向に垂直な中心線が、当該第二検出板の平板面を二等分し、かつ当該第二検出板の当該第二連結板並びに当該第四連結板との接合方向に垂直な中心線と一致し、

当該中心線の伸長方向が、当該第一連結板と当該第二連結板が当該第一振動板を挟持する方向、および当該第三連結板と当該第四連結板が当該第二振動板を挟持する方向に平行であって、

当該共振部が、当該中心線、および当該中心線に直交するとともに当該第一振動板および当該第二振動板の中心を通る直交線の各線について対称な形状を有することを特徴とする請求の範囲第7～10項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

12. 当該各主素子および／または当該各副素子が、少なくとも第一電極と第二電極および圧電膜よりなる圧電素子であって、

当該圧電素子が、

当該第一電極と当該第二電極の間に当該圧電膜を挟んだ積層構造を有し、もしくは、

当該圧電膜の平板面上もしくは当該圧電膜と当該圧電膜が配設された検出板との間に、当該第一電極と当該第二電極が対向する櫛型電極を配設した構造を有し、または

櫛型電極を形成する当該第一電極および当該第二電極の各電極間の隙間に当該圧電膜を配設した構造を有することを特徴とする請求の範囲第1～11項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

13. 当該各主素子における当該圧電膜の分極方向と、当該各副素子における当該圧電膜の分極方向とが互いに逆向きであることを特徴とする請求の範囲第12項記載の双頭型質量センサ。

14. 当該圧電膜が、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛からなる成分を主成分とする材料からなることを特徴とする請求の範囲第12項または第13項記載の双頭型質量センサ。

15. 当該第一電極および／または当該第二電極が、レーザ加工もしくは機械加工によりその一部を除去して当該圧電素子の有効電極面積を調整したものである

ことを特徴とする請求の範囲第12～14項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

16. 当該各振動板と当該各連結板および当該各検出板が、互いの接合により同一平板面を形成していることを特徴とする請求の範囲第1～15項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

17. 当該各検出板が、当該各連結板および当該センサ基板により形成される凹部に嵌合され、接合されてなることを特徴とする請求の範囲第1～16項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

18. 当該各振動板と当該各連結板および当該各検出板が、1枚の振動プレートから一体的に形成され、

当該センサ基板が、当該振動プレートとベースプレートを積層して一体的に形成されてなることを特徴とする請求の範囲第1～17項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

19. 当該各連結板の同じ向きの一方の平板面、もしくは当該各連結板の両平板面に、バネ板がそれぞれ貼合され、

当該各バネ板が、当該センサ基板もしくはバネ板補強部に接合されてなることを特徴とする請求の範囲第1～18項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

20. 当該各バネ板が、当該振動プレートと当該ベースプレートとの間に嵌合されて一体化される中間プレートと一体的に形成され、もしくは、当該振動プレートに一体化される当該バネ板補強部と一体的に形成されて、当該各連結板とも一体的に形成されていることを特徴とする請求の範囲第19項記載の双頭型質量センサ。

21. 当該各バネ板に貼合され、かつ、当該センサ基板に接合された補強板を有することを特徴とする請求の範囲第19項または第20項記載の双頭型質量センサ。

22. 当該補強板が、当該各バネ板および当該センサ基板と一体的に形成されていることを特徴とする請求の範囲第21項記載の双頭型質量センサ。

23. 当該第一振動板と当該第二振動板の少なくとも一方の表面もしくは当該共振部の少なくとも一部の表面に、被検出体とのみ反応して当該被検出体を捕捉す

る捕捉物質が塗布されていることを特徴とする請求の範囲第1～22項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

24. 当該各主素子および／または当該各副素子並びに当該各主素子および／または当該各副素子を形成する電極に導通する電極リードが、樹脂またはガラスからなる絶縁コーティング層により被覆されていることを特徴とする請求の範囲第1～23項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

25. 当該樹脂がフッ素樹脂もしくはシリコーン樹脂であることを特徴とする請求の範囲第24項記載の双頭型質量センサ。

26. 当該絶縁コーティング層の少なくとも一部の表面が、導電性部材からなるシールド層により被覆されていることを特徴とする請求の範囲第24項または第25項記載の双頭型質量センサ。

27. 当該センサ基板、当該各振動板、当該各連結板、当該各検出板、当該各バネ板および当該バネ板補強部と当該補強板が、安定化ジルコニアもしくは部分安定化ジルコニアからなることを特徴とする請求の範囲第1～26項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

28. 当該各振動板、当該各連結板、当該各検出板、当該各バネ板の少なくともいずれかの形状が、レーザ加工もしくは機械加工によりトリミングして寸法調整を行ったものであることを特徴とする請求の範囲第1～27項のいずれか一項に記載の双頭型質量センサ。

29. 2枚の振動板のそれぞれに、連結板が互いの側面において接合され、必要に応じて主素子もしくは副素子を配設した検出板が、当該連結板の間に跨設され、もしくは当該連結板を挟持するように配設されて、少なくとも当該連結板の一部の側面をセンサ基板に接合してなる双頭型質量センサにおいて、

当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、当該振動板が、

当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸に垂直であり、かつ、当該振動板の平板面に垂直な方向へ屈曲する曲げモード振動、もしくは、

当該垂直軸を中心軸として当該垂直軸回りに回転振動する軸回転モード振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直であり、かつ、当該垂直軸

に垂直な方向に振り子状に振動する  $\theta$  モード揺れ振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直であり、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該各振動板の側面に平行な方向の揺れを伴いながら振り子状に振動する  $\phi$  モード揺れ振動、

の少なくともいずれかの振動に基づく当該双頭型質量センサの共振部の共振周波数を当該素子により測定することを特徴とする双頭型質量センサの質量検出方法。

30. 2枚の振動板のそれぞれが、連結板に挟持されるように互いの側面において接合され、必要に応じて主素子もしくは副素子を配した検出板が、当該連結板の間に跨設され、もしくは当該連結板を挟持するように配設され、センサ基板の間隙部を挟んで対向する側面に、少なくとも当該連結板の一部の側面が接合されるように跨設してなる双頭型質量センサにおいて、

当該連結板と当該センサ基板との接合面を固定面として、当該振動板が、

当該固定面の中心を垂直に貫通する垂直軸を中心軸として当該垂直軸回りに回転振動する軸回転モード振動、もしくは、

当該振動板の中心を中心として当該振動板の平板面内において回転反復振動する  $\eta$  モード平面回転振動、もしくは、

当該垂直軸を中心として、当該振動板の側面に垂直、かつ、当該垂直軸に垂直な方向への揺れが当該各振動板の側面に平行な方向の揺れを伴いながら振り子状に振動する  $\phi$  モード揺れ振動、もしくは、

当該振動板の平板面内で、当該垂直軸に直交する方向に往復振動する一軸モード往復振動、

の少なくともいずれかの振動に基づく当該双頭型質量センサの共振部の共振周波数を当該素子により測定することを特徴とする双頭型質量センサの質量検出方法。

31. 一方の振動板および一方の振動板に接合される連結板の質量は変化せず、他方の振動板および他方の振動板に接合される連結板の質量が変化することにより現れる2つの共振周波数の差を求ることにより、当該他方の振動板および他方の振動板に接合される連結板の質量変化を検出することを特徴とする請求の範

図第 29 項または第 30 項記載の双頭型質量センサの質量検出方法。

図 1

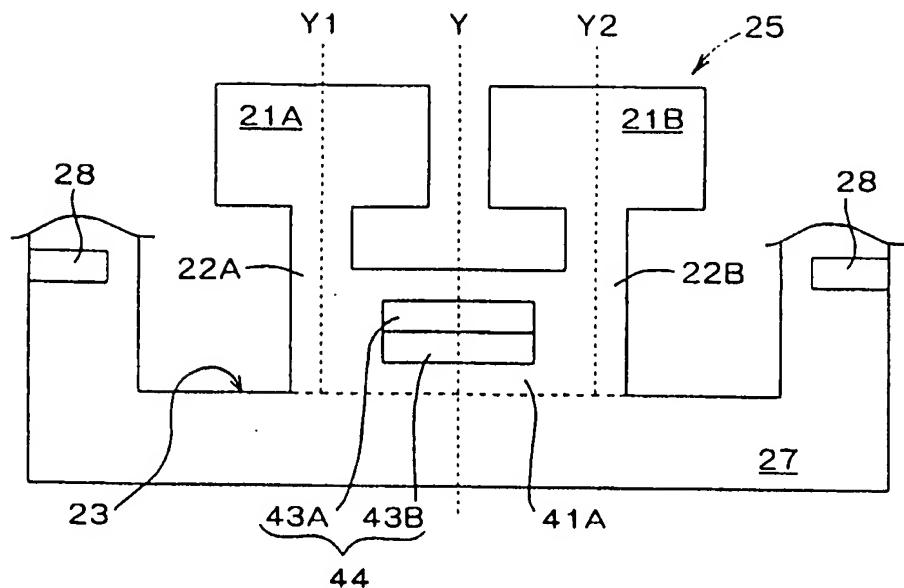
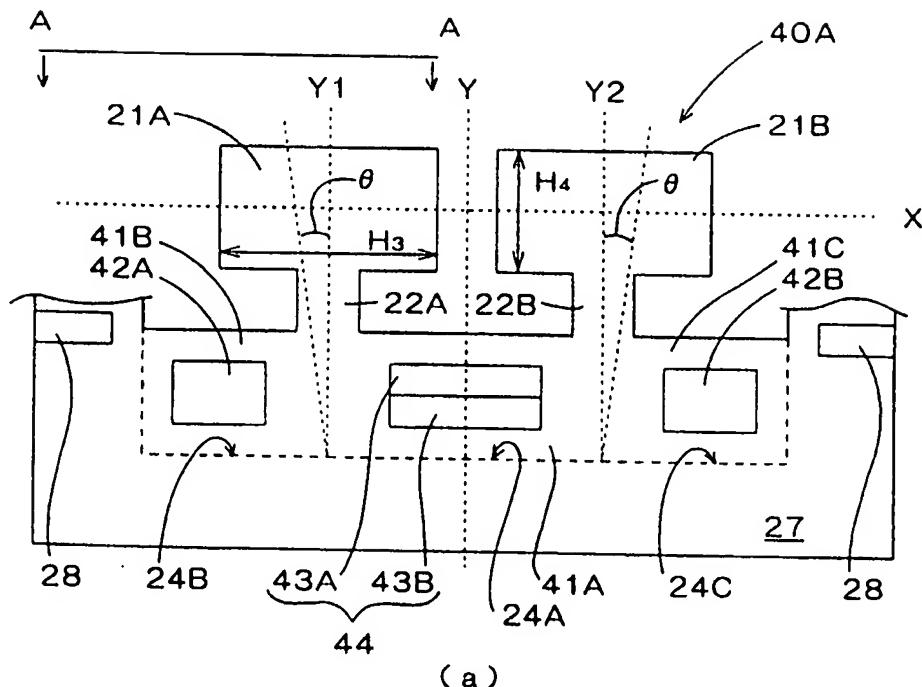
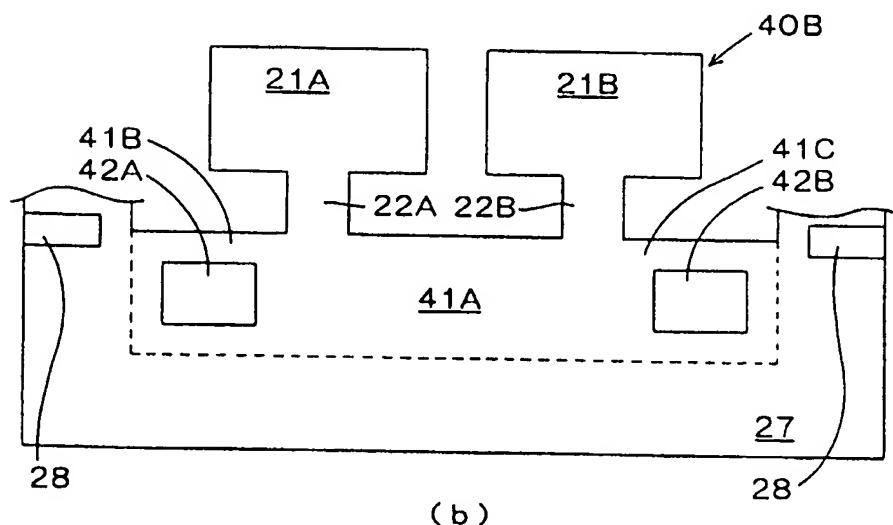


図 2



(a)



(b)

図 3

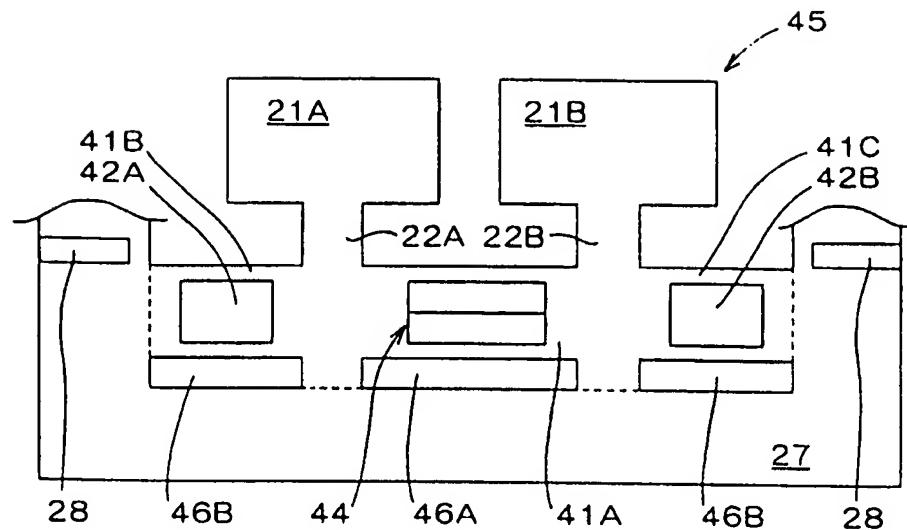


図4

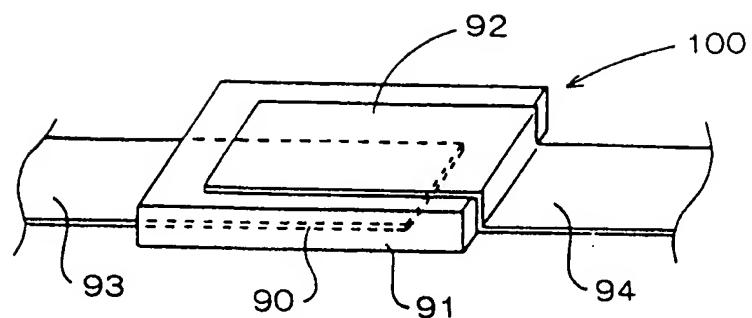


図5

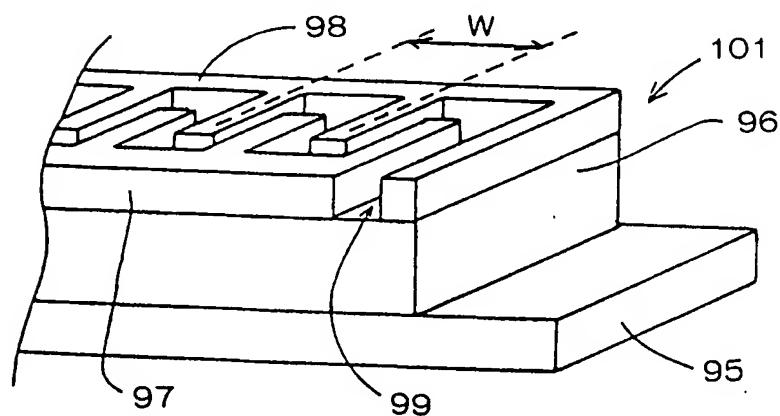


図6

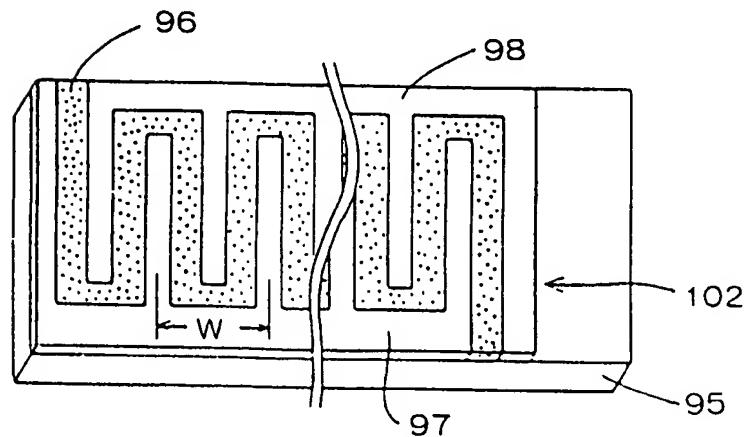
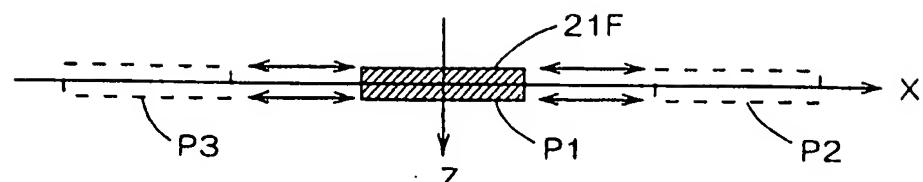
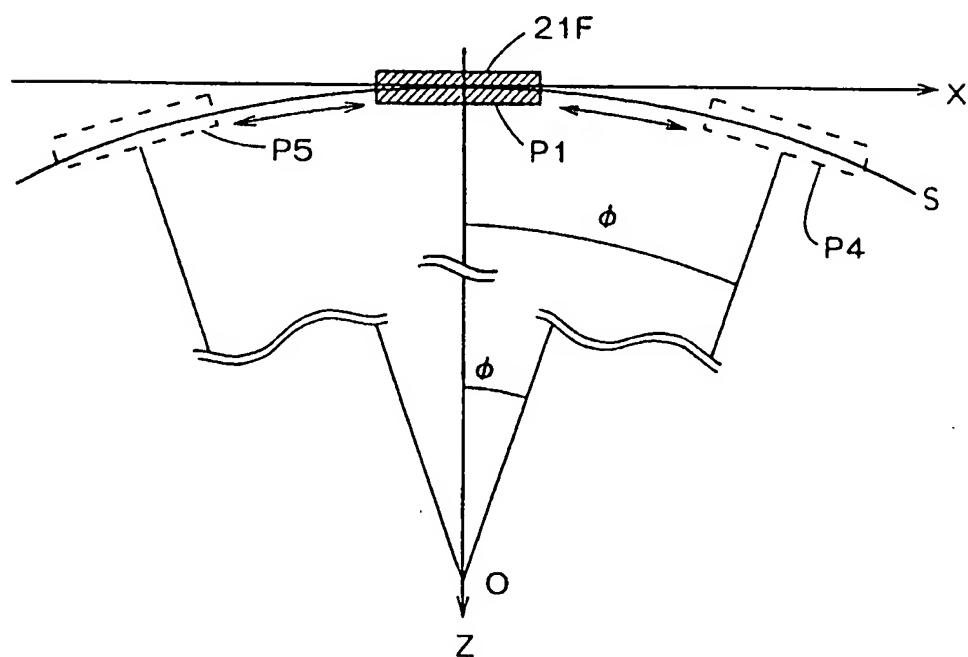


図 7



(a)



(b)

図 8

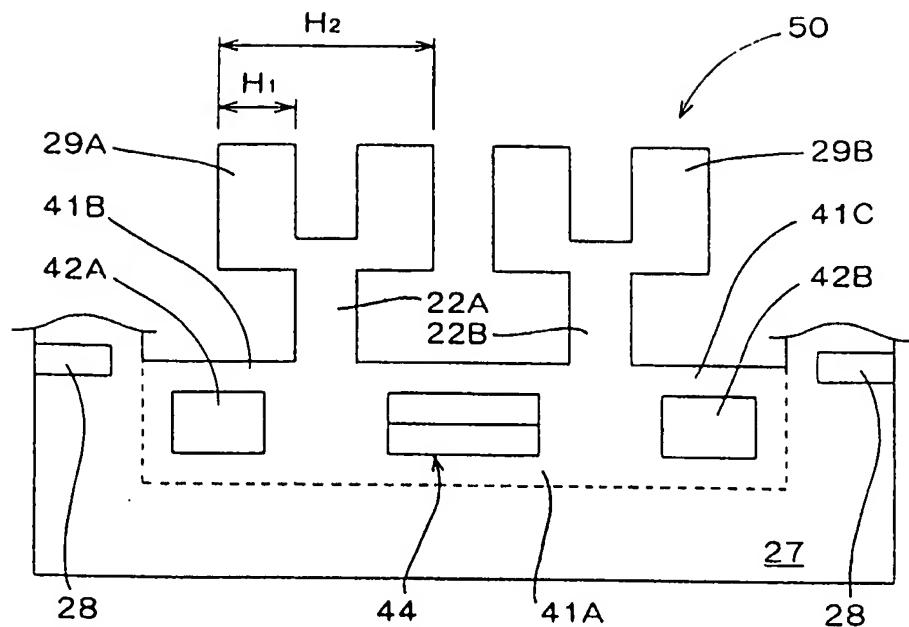


図 9

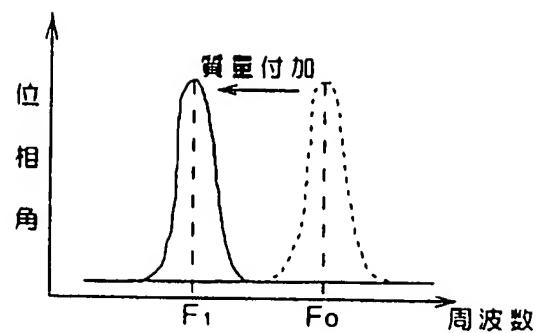
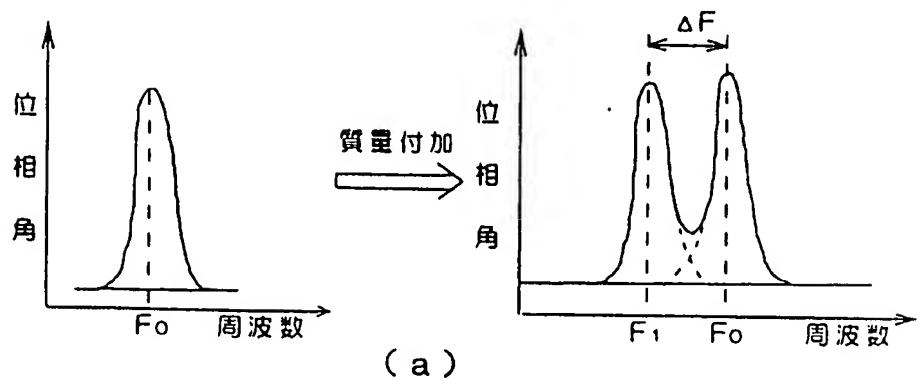
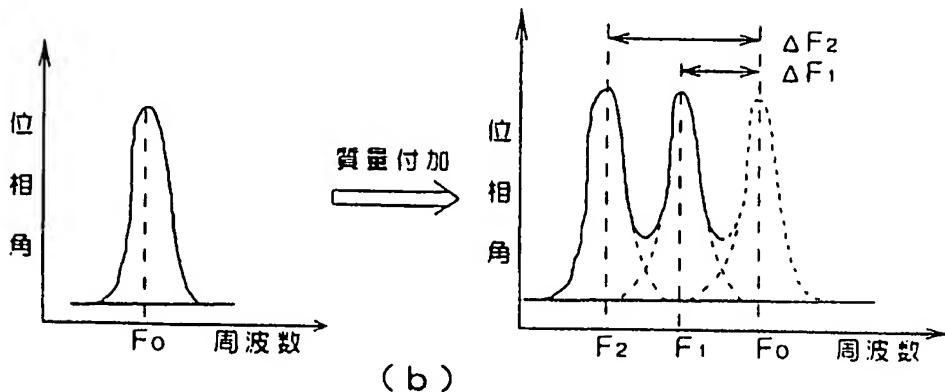


図 10

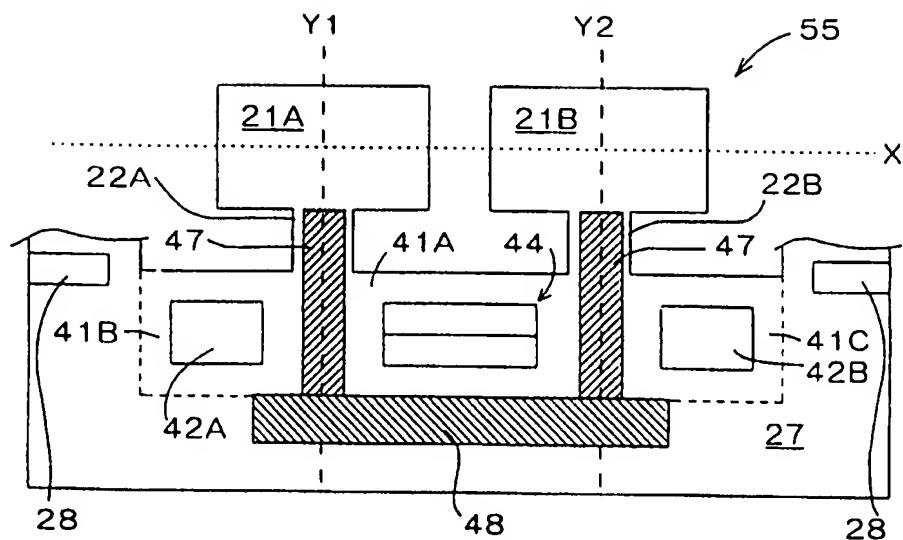


(a)

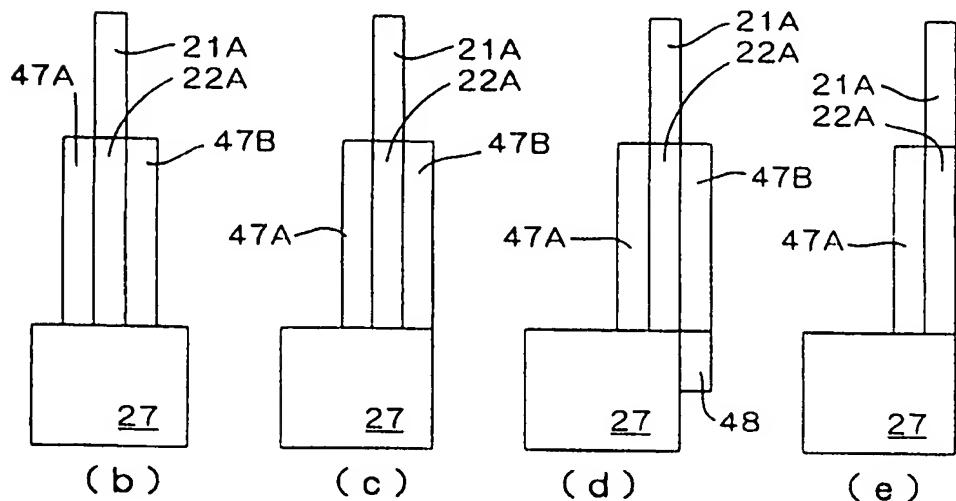


(b)

图 11



(a)



(b)

(c)

(d)

(e)

図 12

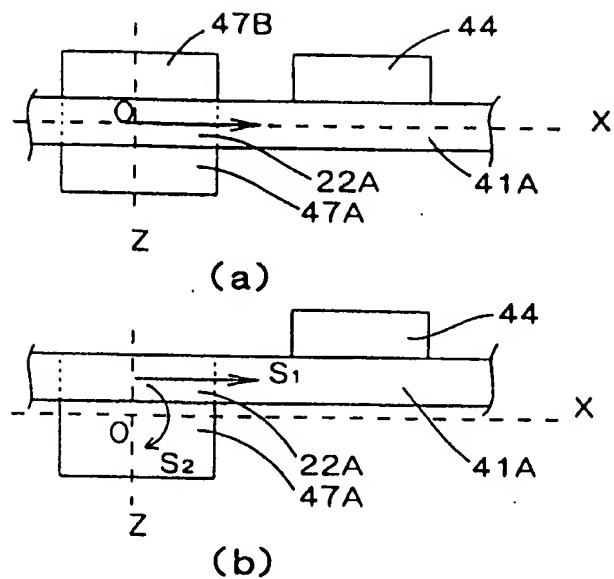
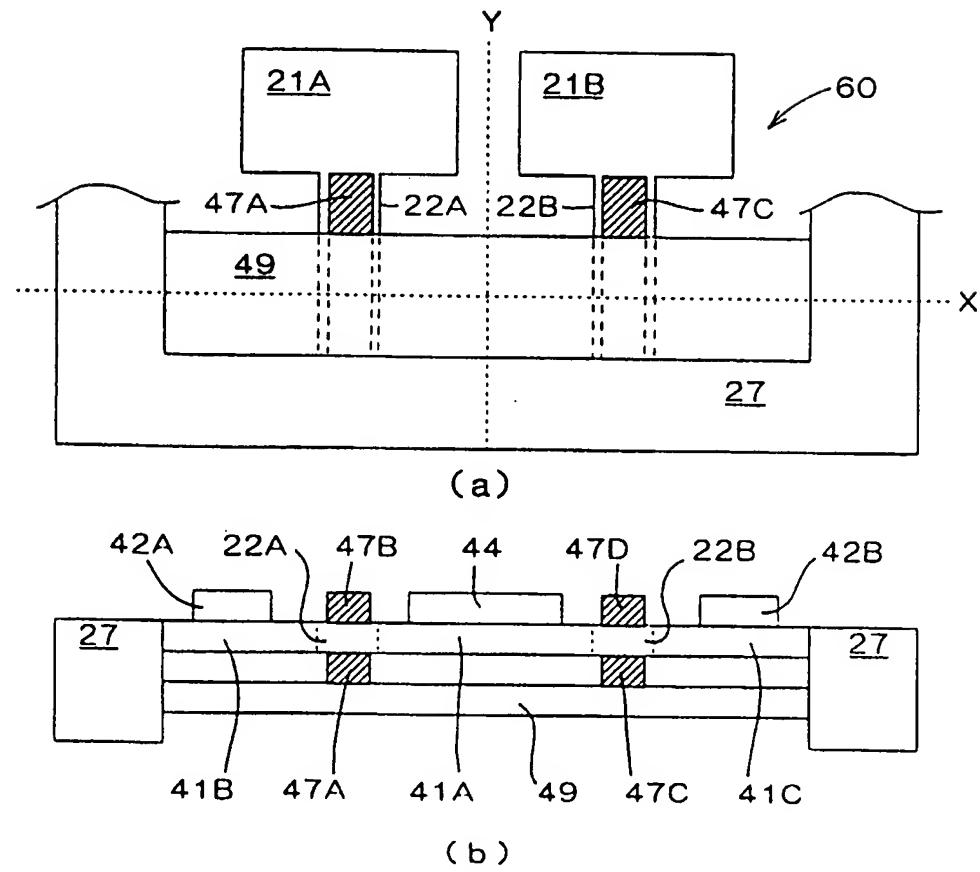


図 13



四 14

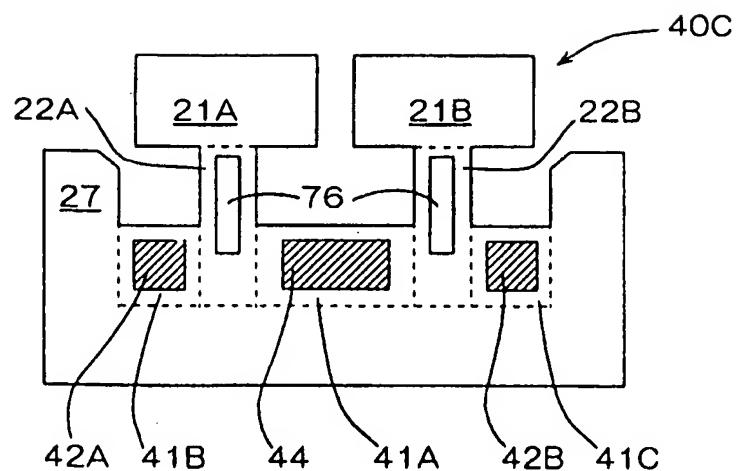


図15

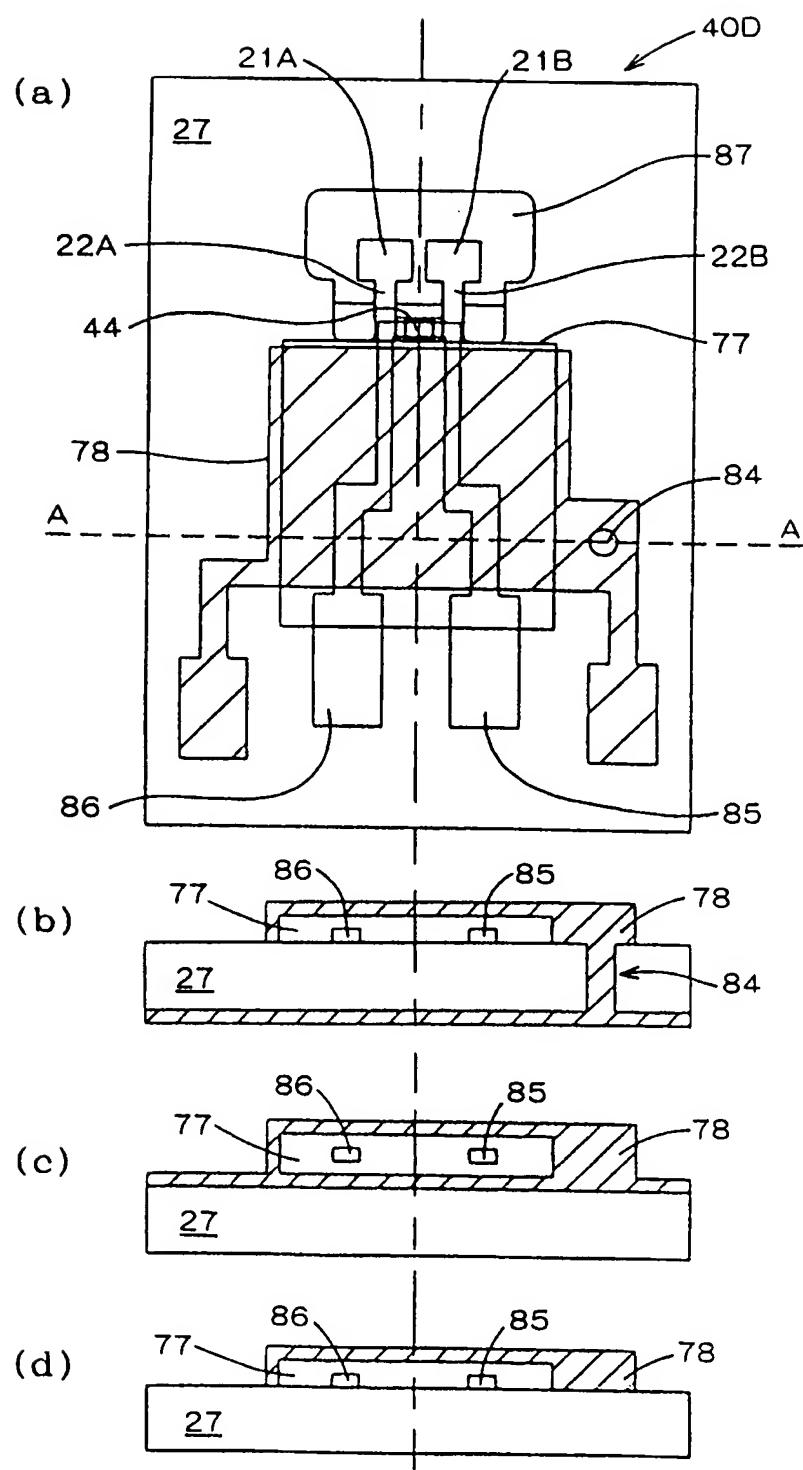


図16

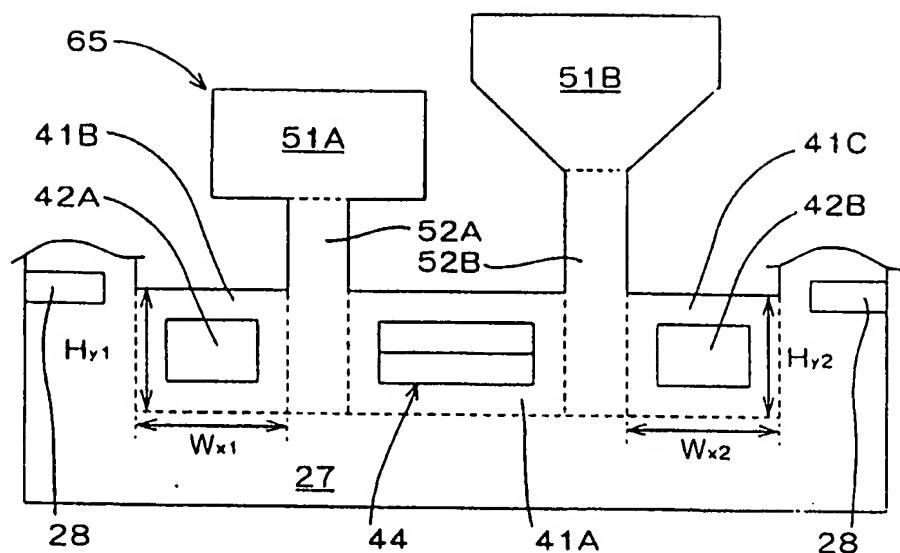


図17

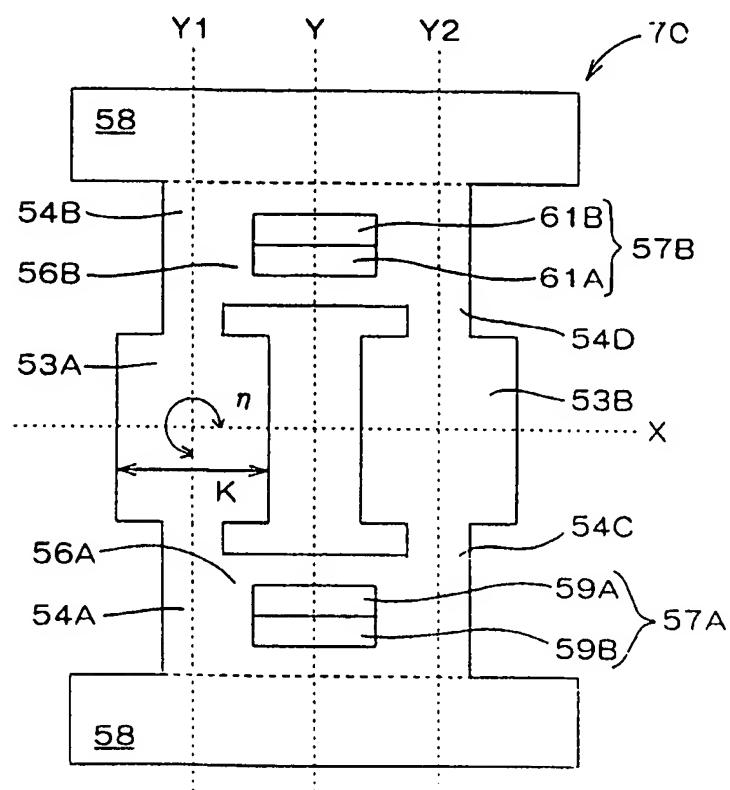
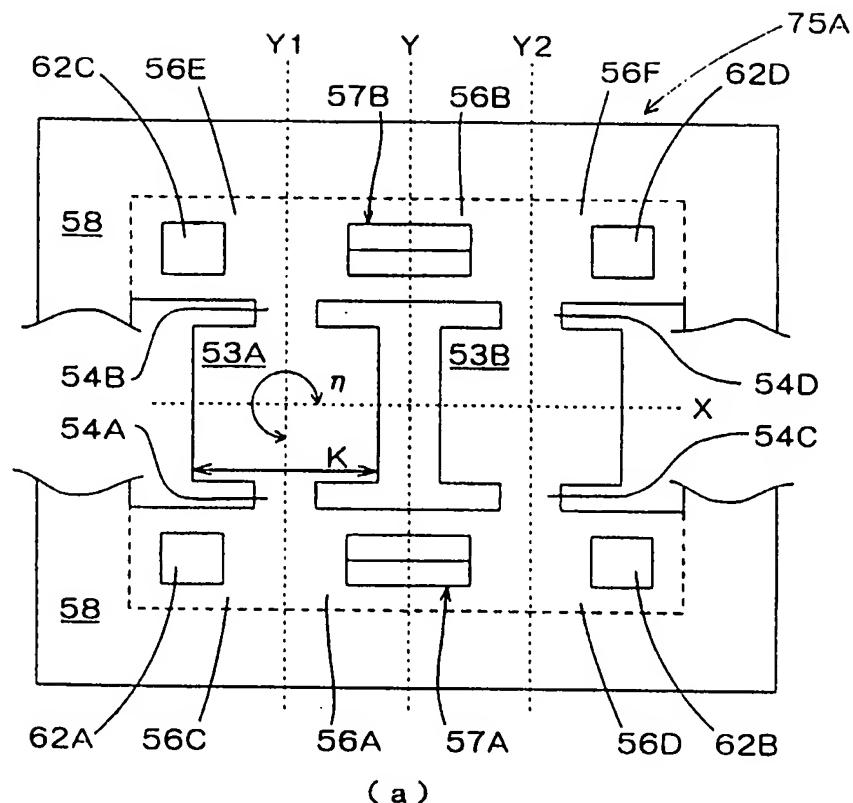
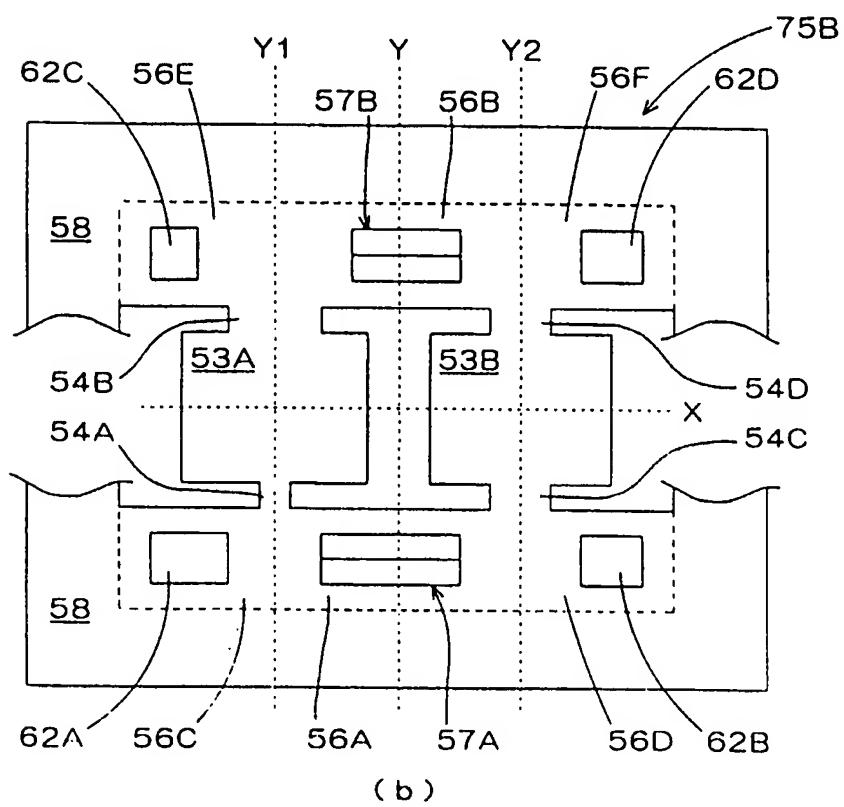


図18



(a)



(b)

図19

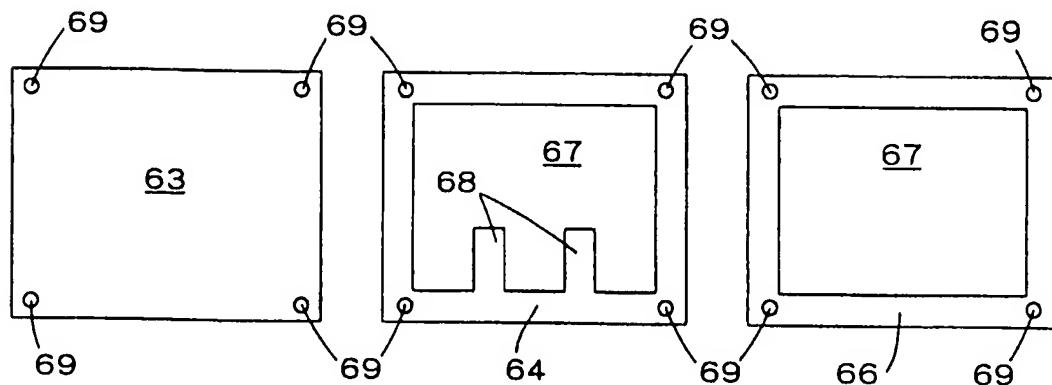


図20

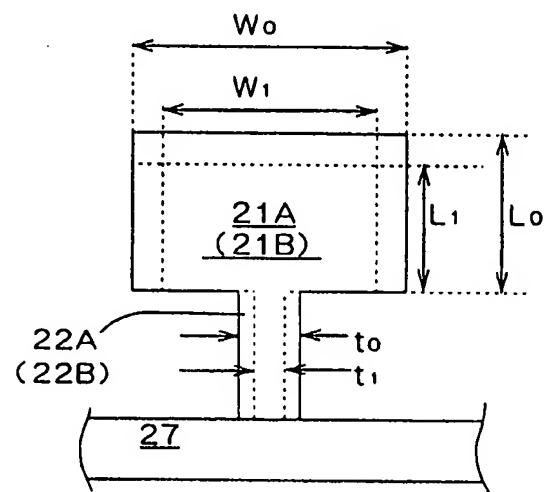


図21

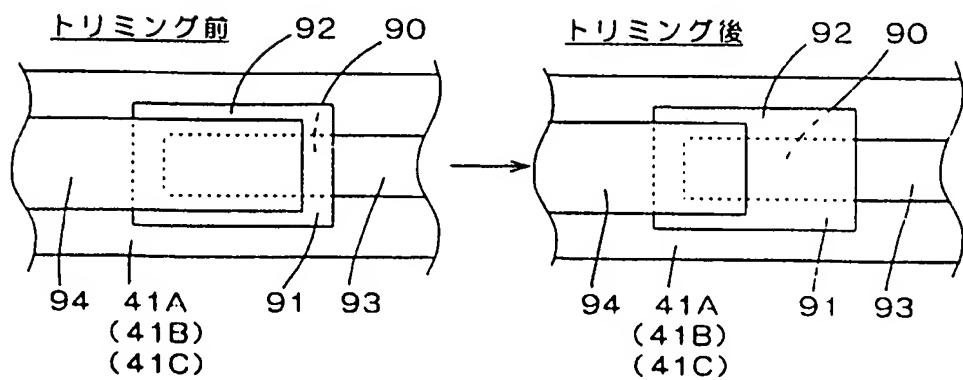


図22

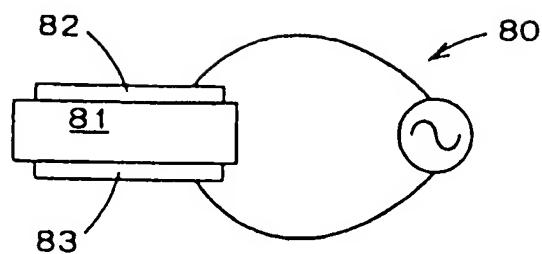


図23

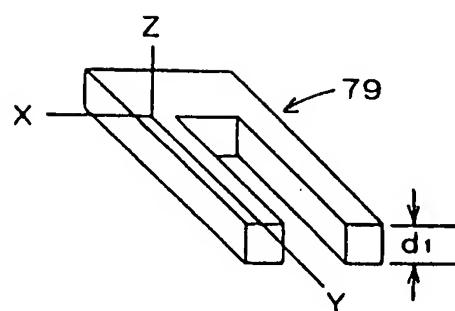


図24

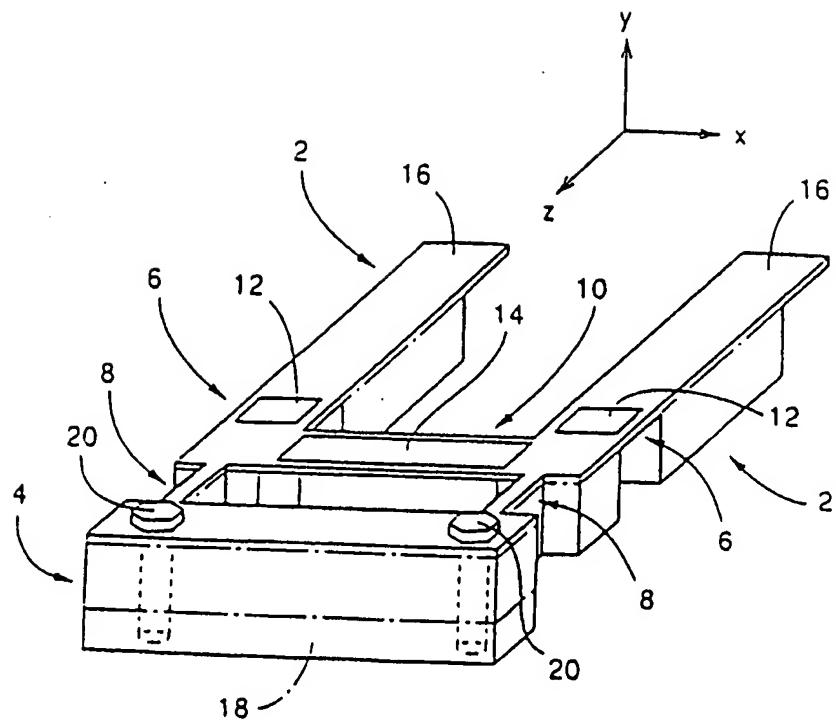
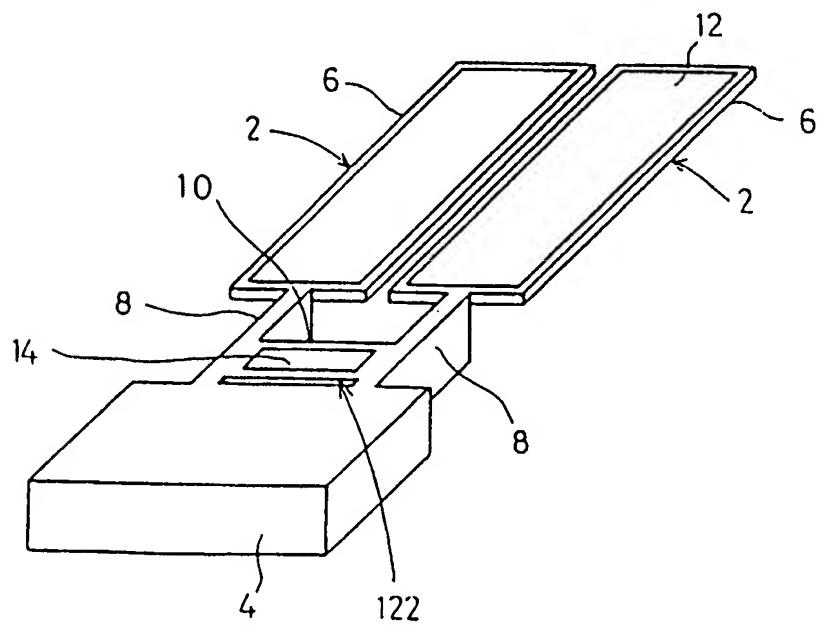


図25



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP98/03970

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>6</sup> G01G3/13, 3/16, G01N5/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>6</sup> G01G3/13, 3/16, G01N5/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1957-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 61-231419, A (NOK Corp.), 15 October, 1986 (15. 10. 86), Full text ; all drawings (Family: none)	1-31
A	JP, 63-200028, A (Japan Atomic Energy Research Institute), 18 August, 1988 (18. 08. 88), Full text ; all drawings (Family: none)	1-31
A	JP, 62-64934, A (Seiko Instruments Inc.), 24 March, 1987 (24. 03. 87), Full text ; all drawings & US, 4789804, A & EP, 215669, A1	1-31

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

"A"	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier document but published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search  
26 November, 1998 (26. 11. 98)

Date of mailing of the international search report  
8 December, 1998 (08. 12. 98)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP98/03970

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. Cl<sup>6</sup> G01G 3/13, 3/16  
 G01N 5/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. Cl<sup>6</sup> G01G 3/13, 3/16  
 G01N 5/02

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1957-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-1998年  
 日本国登録実用新案公報 1994-1998年  
 日本国実用新案登録公報 1996-1998年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 61-231419, A (エヌオーケー株式会社) 15.10月.1986 (15.10.86) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-31
A	J P, 63-200028, A (日本原子力研究所) 18.8月.1988 (18.08.88) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-31
A	J P, 62-64934, A (セイコー電子工業株式会社) 24.3月.1987 (24.03.87) 全文, 全図&US, 4789804, A&EP, 215669, A1	1-31

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 26.11.98	国際調査報告の発送日 08.12.98
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 榮永 雅夫 2F 8706 印

電話番号 03-3581-1101 内線 3216